

mars 2006

Guide technique

Drainage routier



Guide technique

Drainage routier



collection les outils

Document édité par le Sétra dans la collection "les outils". Cette collection regroupe les guides, logiciels, supports pédagogiques, catalogues, données documentaires et annuaires.

Ce guide « Drainage routier » a été rédigé par un groupe de travail constitué de :

• Marie-Odile Cavaillès (Sétra)

• Yasmina Boussafir (CETE Normandie-Centre - LRPC Blois)

• Marc Valin (CETE Nord-Picardie)

• Francis Van laethem (CETE Nord-Picardie - LRPC Lille)

L'équipe s'est notamment appuyée sur le travail approfondi réalisé en 1997 par :

- Jean-Louis Paute (CETE de L'Ouest - LRPC Saint-Brieuc) avec la participation de :

- Yves Arnaud (CETE de Lyon - LRPC Clermont-Ferrand),

- Jean-Louis Aussedat (Scetauroute),

- Véronique Berche (CETE Normandie-Centre - LRPC Saint-Quentin),

- Patrice Bioche (CETE de L'Ouest - LRPC Angers),

- Pierre-Yves Bot (DDE du Morbihan),

- Didier Giloppe (CETE Normandie-Centre),

- Hervé Havard (LCPC),

- Alain Quibel (CETE Normandie-Centre).

Aide à la lecture du guide

- Les renvois bibliographiques : dans le texte, les numéros entre crochets [ ] correspondent aux documents mentionnés dans la bibliographie en annexe 5

- Les abréviations rencontrées dans le texte sont explicitées en annexe 6.1

- Les renvois vers le glossaire : dans le texte, les mots ou expressions repérés par * correspondent aux termes explicités en annexe 6.2

Sommaire

Introduction

L'eau est présente en plus ou moins grande quantité dans l'environnement de la route, que ce soit dans les talus de déblai ou de remblai, à l'intérieur même de la chaussée ou dans les sols sous-jacents ou contigus des accotements.

Une chaussée bien drainée a un meilleur comportement mécanique sur un sol support dont la portance est également améliorée. La chaussée et la plate-forme étant à une teneur en eau plus faible tout au long des cycles climatiques, il en résulte une augmentation sensible de la durée de vie de la chaussée, un plus grand espacement des séquences d'entretien et une protection efficace contre les effets destructeurs des phénomènes de gel - dégel.

Les termes « drainage » et « assainissement » sont utilisés pour traiter indifféremment de l'évacuation des eaux de ruissellement ou de l'élimination des eaux internes. Pour éviter toute confusion dans la finalité et la conception des dispositifs, les fonctions spécifiques des systèmes de drainage interne des chaussées sont clairement différenciées de celles de l'assainissement de surface, comme indiqué au chapitre 1.

Ce guide est le premier document méthodologique sur le drainage routier qui incite à la prise en compte systématique des besoins de drainage dans les travaux routiers. Il propose des solutions en terme de type d'ouvrage, d'implantation, de dimensionnement et d'entretien pour les projets routiers neufs, y compris les terrassements et pour les chaussées existantes.

Ce document s'adresse aux maîtres d'œuvre et d'ouvrage, aux gestionnaires, aux bureaux d'études et entreprises de travaux publics concernés par l'étude du drainage routier, sa réalisation et sa maintenance.





1 - Notions générales sur le drainage

1.1 - Définition du drainage

Le drainage routier correspond à la collecte et à l'évacuation des eaux présentes dans le sol support et dans les chaussées. Il constitue l'un des trois volets du domaine de l'assainissement routier (*cf.* guide technique [21]) avec la collecte et l'évacuation des eaux de surface (assainissement superficiel) et le rétablissement des écoulements naturels.

Le drainage participe de façon essentielle au bon comportement mécanique de la chaussée et contribue ainsi largement à la pérennité des ouvrages routiers.

Les eaux internes à drainer proviennent :

• des infiltrations au travers de la chaussée, vers les interfaces couches de chaussée et chaussée/sol support ;

• des infiltrations depuis les accotements, vers les interfaces couches de chaussée et chaussée/sol support, alimentées par la plate-forme ;

• des venues d'eau issues de l'environnement latéral, vers les interfaces chaussée/sol support et le sol support, et qui ont pour origines les bassins versants, les déblais et les émergences de nappe phréatique.

Même si les réseaux de drainage et d'assainissement rejoignent souvent des exutoires communs, il est indispensable de les différencier car ils remplissent des fonctions distinctes : en particulier, le réseau de drainage qui véhicule une eau dite « propre » (non souillée) ne doit en aucun cas être perturbé par les eaux de ruissellement, souvent polluées (boues, huiles, végétation, etc.) et de débit plus conséquent (pour éviter une mise en charge).

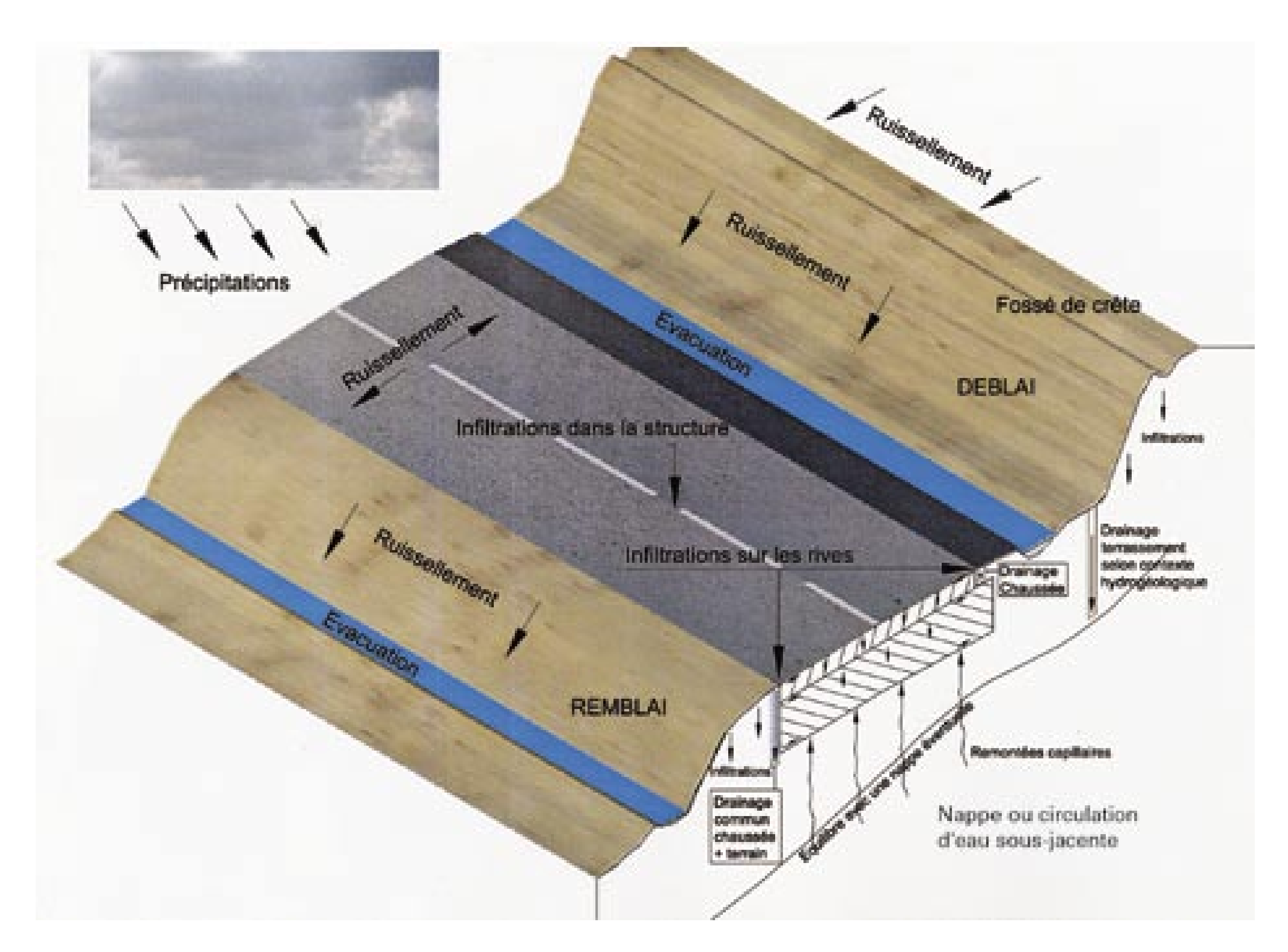


Schéma 1 : distinction entre les fonctions de drainage et d'assainissement routier

1.2 - Critères à prendre en compte lors d'une étude de drainage

1.2.1 - Quand doit-on drainer ?

La prise en compte du climat sur le territoire français impose de drainer de façon systématique les sols supports, la couche de forme et la chaussée.

On peut, cependant, se soustraire à l'obligation de drainage dans les cas suivants :

• contexte climatique favorable ; en phase terrassement, le drainage doit être analysé plus particulièrement par rapport au contexte hydrogéologique (*cf.* §1.2.2) ;

• trafic PL très faible (T5) pour chaussée correctement dimensionnée ;

• contexte hydrogéologique favorable, sol support et nature des couches de chaussées favorables à court et à long terme (*cf.* § 1.2.3).

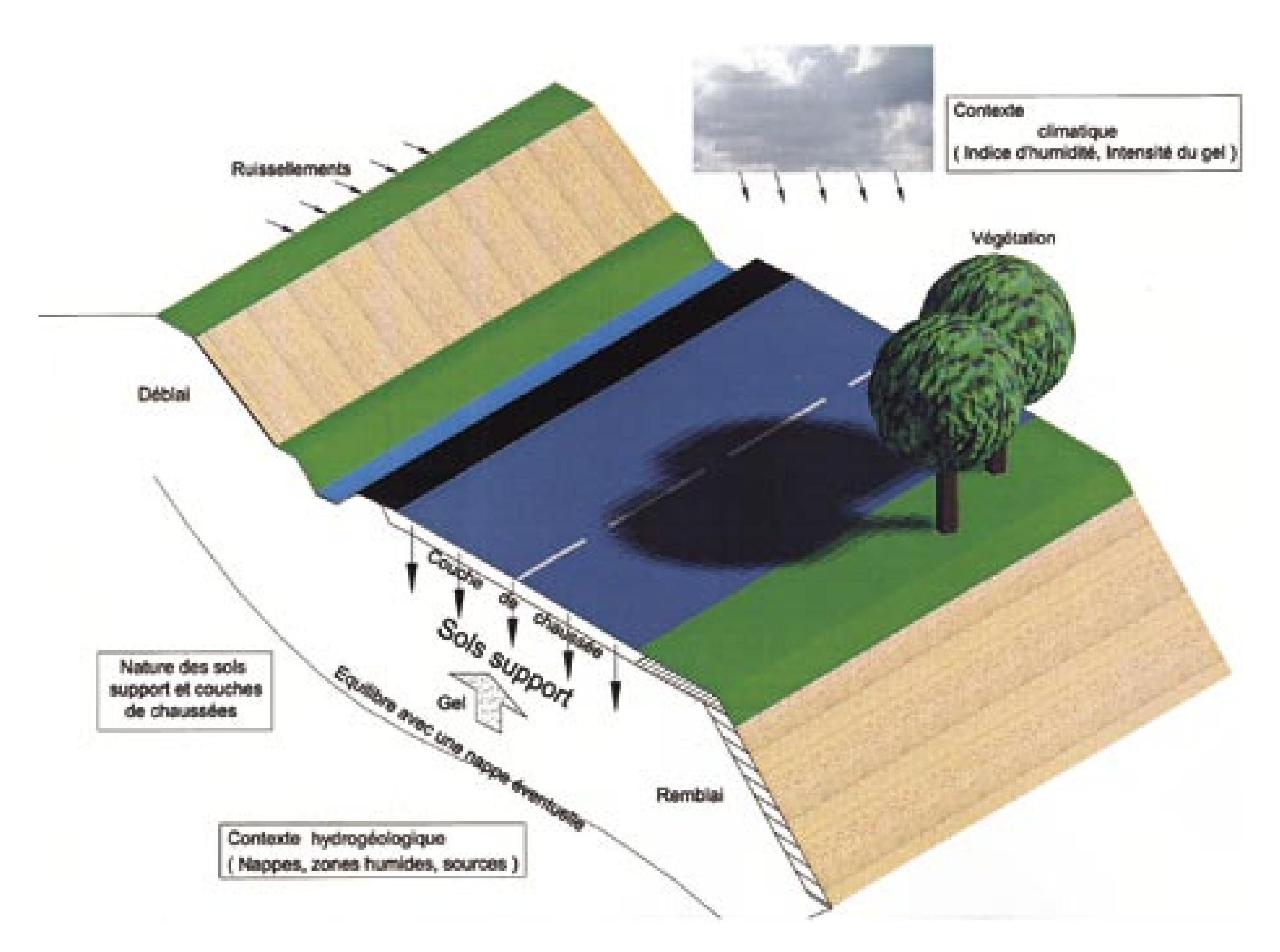


*Schéma 2 : drainage des sols support, couche de forme et chaussée.**

1.2.2 - Contexte climatique ou météorologique

La cartographie repose sur l'implantation et la densité des stations météorologiques.

Les études ont montré qu'en France le climat est généralement humide à très humide (*cf.* carte n°1) avec de rares zones sèches. Cependant, quel que soit le type de climat, la répartition de l'humidité au cours du cycle saisonnier, avec de fortes concentrations sur quelques mois, présente une accentuation du risque de dégradation des chaussées par l'humidité.

Le degré d'humidité des sols et des matériaux de chaussées est lié au climat et à ses fluctuations. Or, l'eau diminue les caractéristiques mécaniques des sols et des matériaux (*cf.* § 3.1).

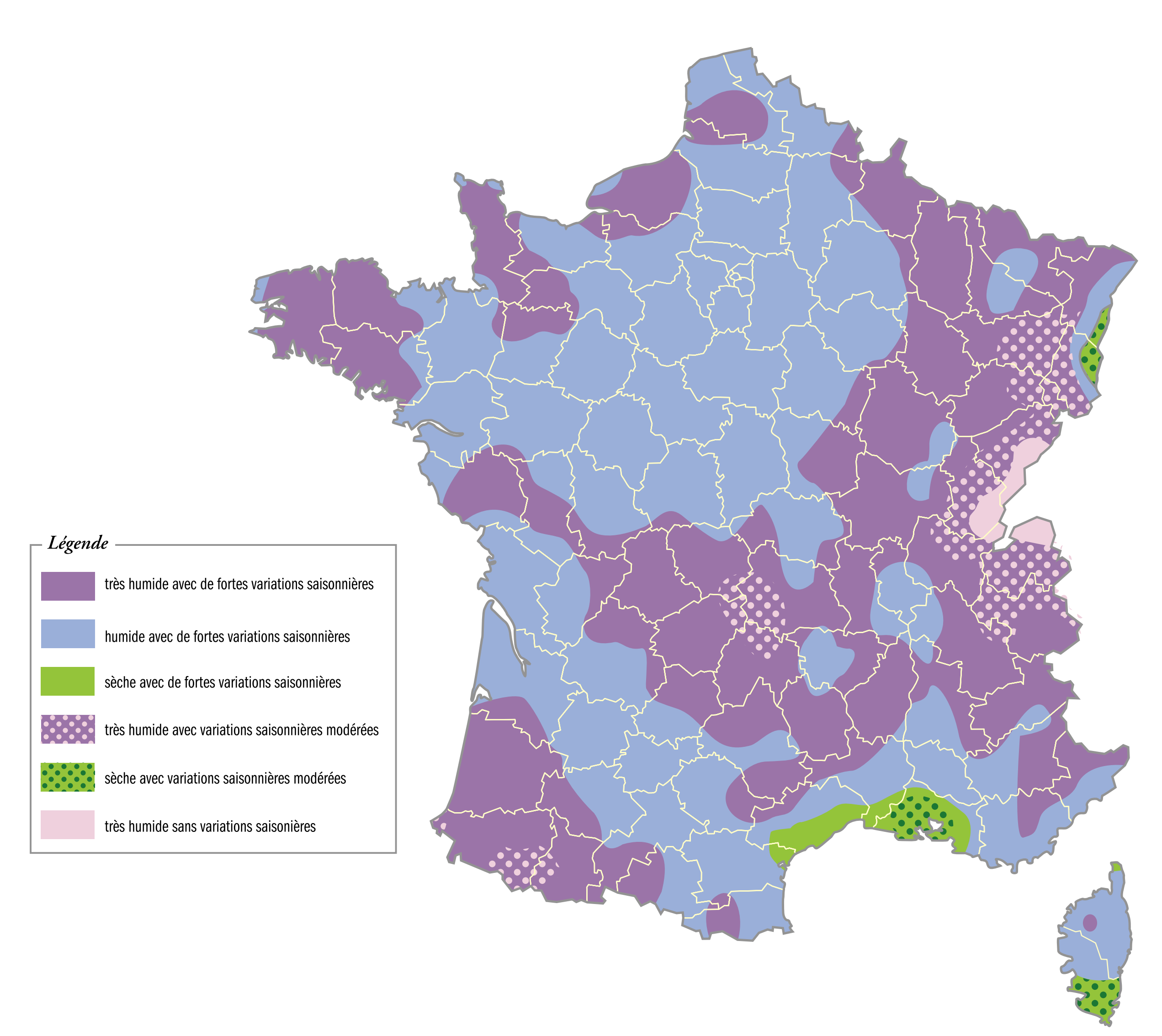
Cette caractéristique s'aggrave lorsque les températures deviennent négatives et que l'eau gèle dans les structures. (*cf.* carte n° 2). Cette carte prend en compte l'indice de gel maximum (hiver rigoureux exceptionnel) relevé pendant la période 1951-1991 sur 95 stations.

En limite de zone, le projeteur aura intérêt à prendre le critère le plus défavorable.

Selon la position géographique du projet, on distinguera des contextes :

• où l'on peut se soustraire au besoin de drainage : variations climatiques sèches avec des variations climatiques modérées ;

• où le drainage est à envisager systématiquement : en zone climatique humide à très humide.



Carte n° 1 : répartition de l'humidité en France. Carte réalisée à partir de l'étude Météo France [16].
Il est possible de calculer avec une plus grande précision la valeur des indices climatiques d'un site particulier si l'on dispose de relevés météorologiques à proximité. Cependant, cet accroissement de précision peut n'être qu'illusoire car le climat en un point donné subit des fluctuations importantes et ne se reproduit pas à l'identique chaque année.

En conclusion, dans la plupart des cas, le drainage est nécessaire à l'exception des zones sèches avec variations saisonnières modérées (sud de la Corse, une partie des Bouches-du-Rhône et une partie de l'Alsace (*cf.* carte n° 1).

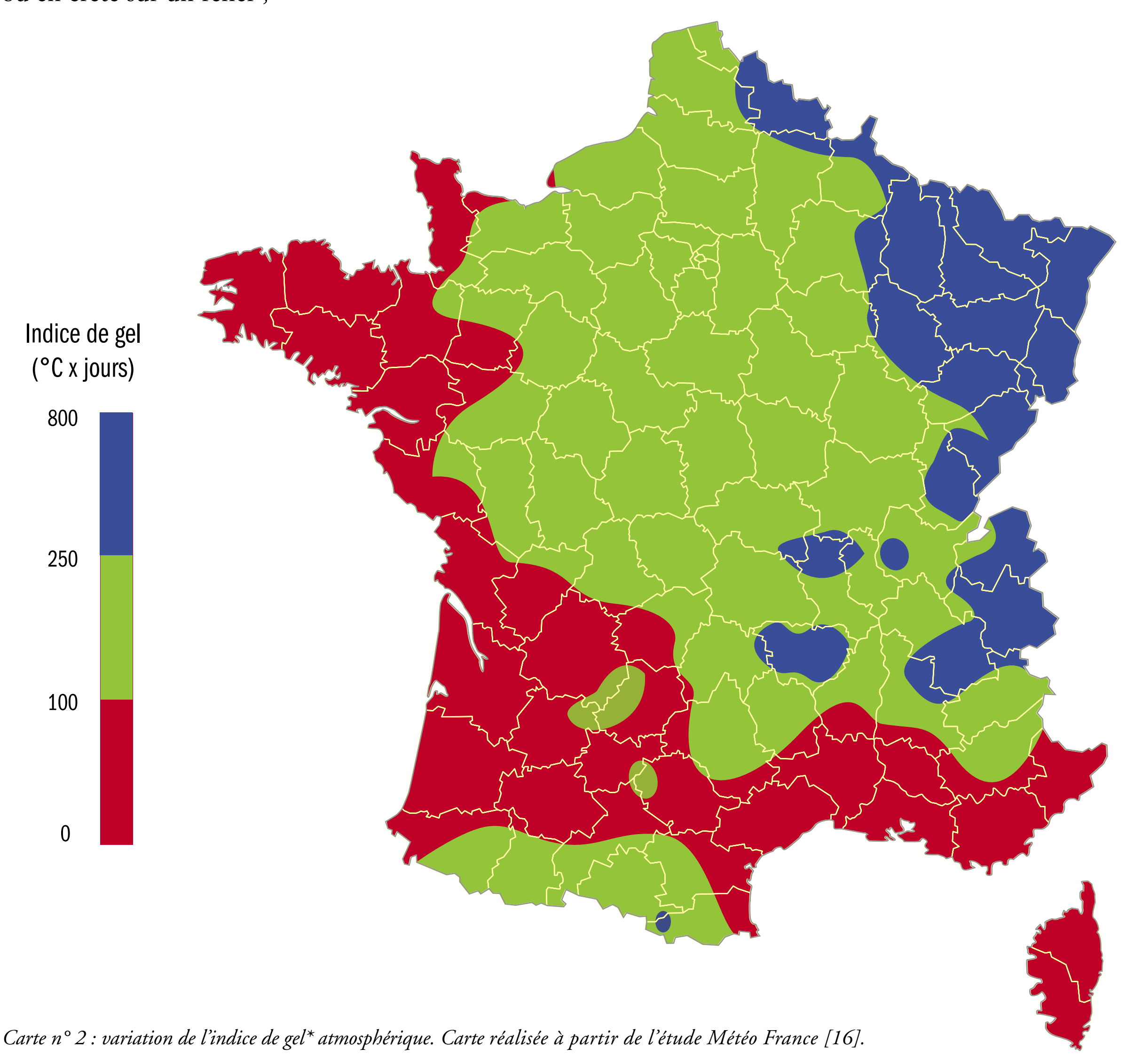
1.2.3 - Contexte hydrogéologique (cf. annexe 1)

Ce contexte doit être défini au moins dans l'étude géotechnique. Les cas particuliers feront l'objet d'études complémentaires.

Le contexte hydrogéologique est :

- favorable lorsque la chaussée n'intercepte aucun système hydrogéologique connu. C'est souvent le cas d'une chaussée où de longues sections sont en remblai ou en crête sur un relief ;
- défavorable : lorsque la chaussée intercepte des systèmes hydrogéologiques plus ou moins pérennes, ou plus ou moins importants. Ce cas de figure se rencontre souvent lors d'une succession de déblais/remblais, ou pour des chaussées en profil mixte. Ceci s'aggrave lorsque le dévers accentue la concentration de l'eau en certaines zones ;
- très défavorable lorsque le tracé intercepte de manière certaine des systèmes hydrogéologiques connus. Typiquement, ce sont les chaussées en profil rasant en plaine, les chaussées en déblai, et en profil mixte.

Il est à remarquer que selon l'avancement du projet, le contexte peut évoluer favorablement en modifiant les critères géométriques du tracé : en remontant la ligne rouge*, en créant des remblais, en modifiant l'implantation du tracé...



Carte n° 2 : variation de l'indice de gel atmosphérique. Carte réalisée à partir de l'étude Météo France [16].*

$I \geq 250$: régions marquées par de longs hivers avec des températures basses (gel). Le front de gel pénétre en profondeur dans le sol, d'où des dégradations lors du dégel.
$100 \leq I \leq 250$: régions marquées par des fluctuations de température autour de 0° C. Certaines années les cycles gel - dégel peuvent affecter les matériaux des couches d'assise.
$I < 100$: régions marquées par des hivers moyens. Les gels d'importance modérée n'ont une incidence que sur certaines structures de chaussées souples légères.

1.2.4 - Nature des sols support et des couches de chaussée

sols support

Certains sols support, voient leur performance en terme de portance chuter dans le temps sous l'effet des infiltrations d'eau ou des remontées de nappe. Ce sont des sols « sensibles à l'eau ». Cette caractéristique est prise en compte lors du dimensionnement de la Partie Supérieure des Terrassements de l'Arase (AR) et de l'épaisseur de la couche de forme [9].

Il faut distinguer des sols de nature (*cf.* tableau n° 14 de l'annexe 2) :

• favorable (sol drainant) : ce sont des sols insensibles à l'eau ne nécessitant pas de précaution particulière en terme de drainage (D, B1, B3,certains C1 et C2) ;

• défavorable (sols sensibles à l'eau) : leur état hydrique peut s'améliorer ou rester constant sous l'effet d'une action de drainage, dans des délais raisonnables (A1, B2, B4, B5, certains B6) ;

• très défavorable (sols imperméables) : ces sols sensibles à l'eau ne peuvent quasiment pas voir leur teneur en eau diminuer par une action de drainage s'ils sont dans des états hydriques humides au départ, tout en restant dans des délais raisonnables (A2, A3, A4, certains B5, B6).

Dans les roches, l'eau circule par le biais des fissures ou des discontinuités d'une manière générale (stratification, fracturation, ...).

La plupart des roches ne se désagrègent pas sous l'effet de l'eau (par opposition à un sol), mais peuvent évoluer dans la partie concernée par les terrassements sous l'action du trafic de chantier, de tirs à l'explosif, des opérations de reprises... Dans ce cas, la zone rocheuse susceptible d'évoluer sera assimilée à un sol par le géotechnicien et classée selon les mêmes critères.

Il est souvent admis la répartition suivante :

• favorable : certains R1, certains R2, certains R4, certains R6 ;

• défavorable : R11, R21, R22, R32, R33, R41, R42, R61, R62 ;

• très défavorable : R12, R13, R23, R31, R34, R5, certains R43 et R63.

Matériaux composant les couches de chaussées

Ces matériaux voient en général leurs performances mécaniques chuter en présence d'eau. L'évolution est cependant variable selon la technique retenue et la manifestation des pathologies est également en relation avec le type de technique de chaussée.

On distinguera des techniques :

• favorables : ce sont des structures peu influencées par la présence d'eau lorsqu'elles sont correctement réalisées tels que les couches en matériaux traités au liant hydrocarboné ;

• défavorables : les matériaux traités aux liants hydrauliques et les couches en béton ont des besoins particuliers de drainage, en relation avec la manifestation de fissures ;

• très défavorables : il s'agit des couches en Graves Non Traitées (GNT) dont les performances sont très dépendantes de la teneur en eau.

1.2.5 - Points singuliers de la chaussée

Certaines parties d'ouvrage nécessitent plus que d'autres du drainage quels que soient les critères météorologiques, hydrogéologiques* ou la nature des matériaux. Il s'agit :

• des terre-pleins et des îlots centraux ;

• des zones de transition déblai/remblai ;

• des points bas du profil en long ;

• des zones de dévers en déblai.



Photo n° 1 : l'eau accumulée dans l'îlot central ressort au point le plus bas et coule sur la chaussée.
(Photo CETE Normandie - Centre / LRPC Blois)

1.3 - Effets du drainage sur l'environnement

Les eaux de drainage sont des eaux dites « propres » (non souillées par le système qui les recueille) qui sont évacuées vers le milieu naturel par le biais d'un exutoire.

La réalisation d'ouvrages de drainage entraîne des modifications plus ou moins importantes de l'environnement. Le projeteur doit en avoir conscience au regard :

• de la réglementation en vigueur [15] ;

• des engagements de l'Etat quant à la protection de l'environnement du projet et également vis-à-vis des riverains.

On peut citer certains effets négatifs induits du drainage et des travaux de terrassement :

• l'effet sur la végétation en particulier arbustive au voisinage des ouvrages par assèchement des sols (ainsi des gros chênes que l'on a voulu sauvegarder en bordure de déblai sont-ils devenus rapidement des risques importants pour les usagers par leur dépérissement et le risque de chute) ;

• la réduction des zones humides que l'on a asséchées (non traité dans ce guide) ;

• le tassement d'ouvrages fondés sur des sols peu compacts, siège d'une nappe que l'on a rabattue sans précaution particulière (non traité dans ce guide) ;

• la modification des sens des écoulements des eaux par effet de barrières.



2 - Drainage dans un projet routier neuf

Dans la réalisation d'un projet routier neuf, on distingue 3 étapes :

• les travaux de terrassement ;

• les plates-formes support de chaussées (partie supérieure des terrassements et couche de forme) ;

• les chaussées.

Ce chapitre donne les règles générales de dimensionnement puis présente pour chaque étape les besoins en drainage et les règles de dimensionnement spécifiques.

2.1 - Règles générales de dimensionnement

2.1.1 - Conception du projet de drainage

Le drainage doit être examiné à chaque phase du projet depuis l'étude préliminaire jusqu'à la réalisation des travaux. Les niveaux d'études relatifs au projet de drainage sont définis en annexe 1.

Aujourd'hui, la tendance au niveau conception est de « coller » le plus possible au terrain naturel (objectifs route apaisée, insertion paysagère...).

2.1.2 - Optimisation du tracé du projet routier

Le projeteur a la possibilité d'adapter son projet pour optimiser le drainage en modifiant la ligne rouge* et en évitant :

• les longues rampes ;

• les pentes < 0,5% ;

• les points bas en zone de déblai ;

• les déblais dans des nappes phréatiques ;

• les zones humides.

2.1.3 - Entretien ultérieur

L'effet du drainage est pris en compte dans le dimensionnement mécanique de la plate-forme pour son fonctionnement à long terme ; il est donc indispensable d'organiser le récolement et de programmer l'entretien du système de drainage afin d'augmenter sa durée de vie.

2.1.4 - Caractéristiques géométriques des dispositifs de drainage

Les caractéristiques géométriques des dispositifs de drainage (hauteur, profondeur, pente) dépendent :

• de la partie d'ouvrage à drainer (corps de chaussée, accotement, terre-plein central, déblai, culée d'ouvrage...),

• du dispositif de drainage retenu ;

• de la contrainte de réalisation du projet ;

• des quantités d'eau à évacuer ;

• de la prise en compte de la pente longitudinale de la chaussée ;

• de la prise en compte des pentes transversales et en particulier des dévers qui accentuent les concentrations de l'humidité aux points bas ;

• du choix de la position des dispositifs de drainage dans le profil en travers ;

• de la localisation des exutoires possibles.

Une description des différents ouvrages de drainage et une indication sur les ordres de grandeur de dimensions de ces ouvrages se trouvent dans le chapitre 4.

La pente, un des paramètres majeurs, doit concilier les impératifs suivants :

• une pente minimale > 2 % est nécessaire. Une pente plus faible (jusqu'à 0,5 %) impose un surdimensionnement des drains et un entretien plus fréquent. Ces valeurs peuvent varier d'un ouvrage à l'autre (*cf.* chapitre 4) ;

• les trop fortes pentes (supérieures à 5 à 10 %) que l'on a par exemple en montagne conduisent à des vitesses particulières de l'eau excessives en particulier vis-à-vis des problèmes d'érosion des ouvrages (fossés, talus...), nécessitant des précautions adaptées (fossés stabilisés, cloisonnement de fossés, ouvrages de dissipation d'énergie, multiplication des traversées).

2.1.5 - Règles pour l'évacuation des eaux de drainage

En règle générale, il y a tout intérêt à ne pas mélanger les eaux de drainage, évacuées en priorité vers le milieu naturel, avec les eaux de ruissellement routier afin d'optimiser le dimensionnement des ouvrages. Dans certains cas (par ex : dans le sud de la France) l'apport d'eau de drainage dans les bassins de traitement des eaux pluviales permet d'améliorer leur efficacité (meilleure oxygénation des eaux et maintien du volume mort...)

• en déblai

L'évacuation se fera à la sortie de la tranchée de déblai. A l'instar des dispositifs d'assainissement, l'ouvrage collecteur installé en limite de plate-forme de déblai doit se raccorder à un ouvrage de collecte en pied de talus de remblai (fossé, cunette...) poursuivi jusqu'à un exutoire naturel.

• en remblai

Les eaux drainées par l'ouvrage de collecte seront évacuées en pied de remblai par des descentes d'eau en fonction de la pente longitudinale (plus la pente est faible, plus la distance entre descentes doit être faible) et au minimum dans les points bas.

• en profil mixte

Les eaux collectées en déblai seront ramenées vers le fossé de pied de remblai par des traversées sous chaussées et renvoyées sur les talus par des descentes d'eau comme dans le cas des remblais.

2.1.6 - Impacts sur l'environnement

Impact sur l'eau

Les activités et dispositifs de drainage prévus relatifs à la réalisation d'infrastructures routières sont soumis aux autorisations ou déclarations prévues par les articles L. 214.1 à L. 214.6 du code de l'environnement (ancien article 10 de la loi n° 92-3 sur l'eau du 3 janvier 1992). La police de l'eau s'applique à toutes les eaux superficielles, souterraines, domaniales ou non domaniales, aux eaux maritimes littorales ainsi qu'aux milieux humides.

Le décret 93-743 du 29 mars 1993 établit la nomenclature des opérations ainsi soumises à autorisation **(A)** et à déclaration **(D)**. Les rubriques susceptibles de concerner plus particulièrement les travaux de drainage sont les rubriques suivantes :

*- « 1.1.0. Sondage, forage, création de puits ou d'ouvrage souterrain, non destiné à un usage domestique, exécuté en vue de la recherche ou de la surveillance d'eaux souterraines ou en vue d'effectuer un prélèvement temporaire ou permanent dans les eaux souterraines y compris dans les nappes d'accompagnement de cours d'eau... **D** ».*

*- « 1.1.1. Prélèvements permanents ou temporaires issus d'un forage, puits ou ouvrage souterrain dans un système aquifère à l'exclusion des nappes d'accompagnement de cours d'eau, par pompage, drainage, dérivation ou tout autre procédé : 1° capacité totale maximale des installations de prélèvement supérieure ou égale à 80 m^3 / h... **A***

*2° capacité totale maximale des installations de prélèvement supérieure à 8 m^3/h mais inférieure à 80 m^3/h... **D***

- 4.1.0. Assèchement, mise en eau, imperméabilisation, remblais de zones humides ou de marais, la zone asséchée ou mise en eau étant :

*1° Supérieure ou égale à 1 ha... **A***

*2° Supérieure à 0,1 ha, mais inférieure à 1 ha... **D** »*

- 4.2.0. Réalisation de réseaux de drainage permettant le drainage d'une superficie :*

*1° supérieure ou égale à 100 ha... **A***

*2° supérieure à 20 ha, mais inférieure à 100 ha... **D***

- 4.3.0. Ouvrages, installations, travaux permettant un prélèvement total d'eau dans une zone où des mesures permanentes de répartition quantitative instituée, notamment au titre de l'article 8-2° de la loi du 3 janvier 1992 sur l'eau, ont prévu l'abaissement des seuils :

*1° Capacité supérieure ou égale à 8m^3/h **A***

*2° Dans les autres cas **D** »*

**Cette rubrique ne concerne généralement pas les infrastructures routières et est surtout utilisée dans le cadre du drainage agricole.*

Rappel : la réalisation d'un réseau de drainage modifie la teneur en eau des sols environnants et détourne ou interrompt des écoulements souterrains. Ces perturbations modifient l'écologie du site. Au travers de ces rubriques, il s'agit de protéger et de préserver les nappes d'eau souterraines qui peuvent être des ressources en eau très importantes et fragiles. De même, la protection des zones humides fait partie des priorités nationales (milieux présentant une grande diversité et richesse écologique). Il faut donc éviter ou limiter leur dégradation.

Sur un plan général, le drainage aboutit à une concentration des eaux à l'origine plus ou moins réparties sur le terrain, vers l'exutoire. On augmente donc fortement en un point donné, les apports en eau, et il n'est pas anodin d'évaluer cette action notamment sur un terrain sensible, afin d'éviter l'apparition de désordres à l'aval.

L'idéal pour le choix d'un point de rejet est de choisir ou de trouver sur le terrain une zone d'écoulement naturel préexistante, sans signe de désordre et pouvant absorber les eaux drainées.

Il sera également utile d'accompagner les eaux de drainage depuis l'exutoire jusqu'à l'écoulement naturel récepteur, sur quelques mètres pour prévenir en particulier les problèmes d'érosion ou l'effet de dépôts naturels.

En cas de pollution accidentelle, le gestionnaire devra surveiller les exutoires et les points de rejets.

Gestion des déchets

Il s'agit des matériaux extraits en cours de travaux qui seront dans le meilleur des cas réemployés. L'évacuation des déblais excédentaires sortant de l'emprise du chantier doit être réalisée conformément au Schéma d'Organisation de Gestion et d'Évacuation des Déchets SOGED (*cf.* CCTP type terrassements).

2.1.7 - Evaluation des débits

Drainage des sols support

Les diagrammes, regroupés en annexe n° 3.1 et dont un cas seulement est présenté ci-après, (*cf.* schéma n° 3) indiquent les ordres de grandeur des débits de drainage (en litres par heure et pour une longueur de 100 m) dans le cas d'une tranchée drainante captant d'un seul côté dans divers contextes. Ces derniers sont différenciés par la perméabilité du milieu, l'épaisseur de la nappe, la profondeur de rabattement (*cf.* schéma n° 4)

Les diagrammes montrent que, pour la plupart des sols, et ce quelle que soit la géométrie de la nappe et du dispositif de rabattement, des diamètres de drains courants (100-150 mm) sont a priori largement surdimensionnés. En pratique, il faut cependant tenir compte d'autres phénomènes tels que :

• la diminution du diamètre utile du drain par ovalisation, écrasement ou obstruction (accumulation de sédiments décantés, en particulier dans le cas des contre pentes ou encore présence de racines, animaux etc.) ;

• les venues d'eau parasites ou non prévues : si par exemple, le réseau de drainage est mis en place en phase terrassement, il constituera souvent pendant cette période, non seulement l'unique exutoire des eaux de nappe mais également celui des eaux pluviales. Le diamètre des drains est dans ce cas trop faible et le risque d'obstruction par la boue est réel ;

• la difficulté dans l'appréciation de la perméabilité des sols.

Pour toutes ces raisons, nous proposons :

• d'utiliser des drains de diamètre de 100 ou 150 mm pour tous les cas courants (rabattement inférieur à 2 m et sols de perméabilité inférieure ou égale à 1.10^{-5} m/s) ;

• de déterminer le diamètre nécessaire à l'issue d'une étude hydrogéologique spécifique pour tous les autres cas. Cette étude déterminera en particulier le surdimensionnement à prendre en compte pour le diamètre du drain (avec coefficient multiplicateur pour les débits ≥ à 3).

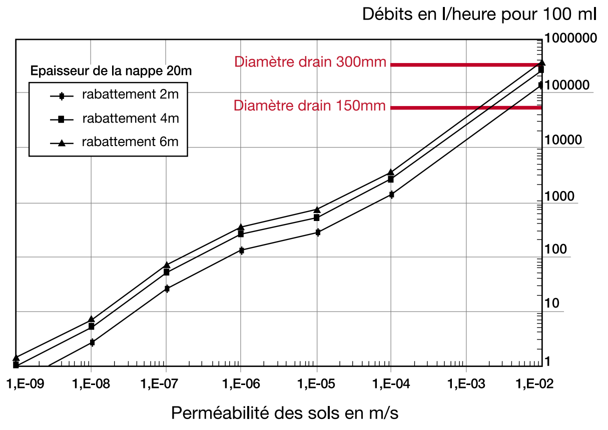


Schéma n° 3 : débits de la nappe en fonction de la perméabilité des sols pour un côté de tranchée et une longueur de 100 m

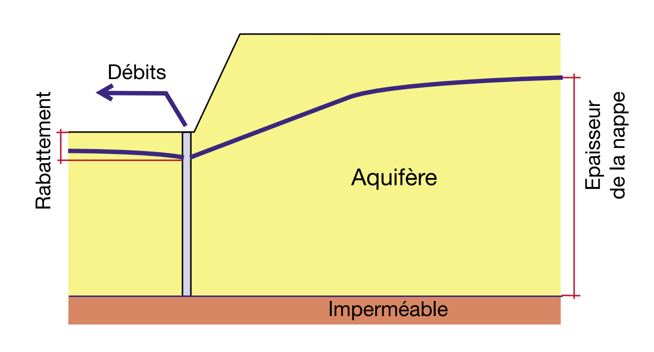


Schéma n° 4 : débits en fonction de la perméabilité du milieu, de l'épaisseur de la nappe et la profondeur de rabattement.

Drainage de la Chaussée

(*cf.* annexe 3.2 « Evaluation des débits à drainer au travers de la chaussée »).

FT : fissure transversale
PL : fissure longitudinale
P : précipitations

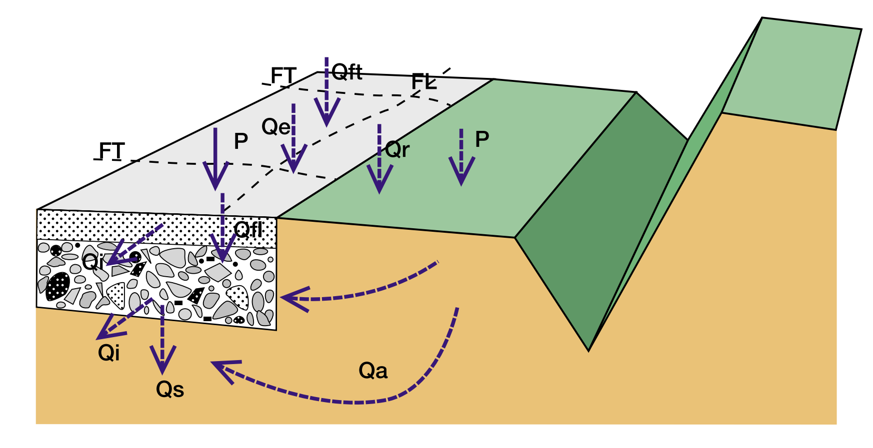


Schéma n° 5 : représentation schématique des différents types d'écoulement sous chaussées et accotement.

- *Qe, à travers la couche de roulement ;*
- *Qft, par les fissures transversales, et Qfl, par les fissures longitudinales ;*
- *Qr, à l'interface chaussée accotement ;*
- *Qa, correspondant aux apports provenant de l'accotement et du bassin versant latéral ;*
- *Qi débits transitant aux interfaces ;*
- *Qs débits alimentant le sol support.*

L'estimation par excès du débit des eaux d'infiltration est donnée par la somme :

$$Q = Qe + Qfl + Qft + Qr + Qa$$

Dénomination		Chaussée neuve ou entretenue		
		Débit minimum évalué	Débit maximum évalué	Débit maximum théorique[1]
Q_e	Débit résultant de la perméabilité de l'enrobé (évoluant avec l'âge et la compacité)	0,0125 l/h	3,75 l/h	125 l/h (enrobés drainants)
Q_{fl}	Débit proportionnel au nombre de fissures transversales et à leur ouverture	1,25 l/h	25 l/h	250 l/h
Q_{fl}	Débit proportionnel au nombre de fissures longitudinales (y compris axe et rive Qr) et à leur ouverture	1,00 l/h	15 l/h	150 l/h
Q_a	Débit proportionnel à la perméabilité des matériaux de l'accotement	1,80 l/h	18 l/h	18 l/h
Q	Débit total évacué par la chaussée par mètre linéaire	4,06 l/h	61,75 l/h	543 l/h
	Débit total évacué par la chaussée par 100 mètres linéaires	406 l/h	6175 l/h	54 300 l/h

Tableau n° 1 : évaluation des débits des eaux d'infiltration.
(1) ce cas suppose que toute l'eau des précipitations s'infiltre dans une demie chaussée de 3,50 m

L'évaluation des débits aboutit à une fourchette de 400 à 6 000 l/h pour 100 m/linéaire ; pour les chaussées neuves et entretenues, on pourra se contenter de drains ou de dispositifs de drainage équivalent de Ø 100 à 150 mm.

2.2 - Travaux de terrassements

En phase terrassement, les difficultés (évolution des machines, compactage, stabilité des plate-formes et des talus) sont le plus souvent liées à un excès d'eau. Il est donc bien évident que l'on a tout intérêt à réaliser cette phase en période sèche.

Le drainage dans cette phase peut, en partie, remédier aux difficultés rencontrées mais, lorsque ce besoin de drainage apparaît en phase de travaux et qu'il n'a pas été prévu au niveau du projet, il est souvent trop tard pour agir avec efficacité : les actions d'amélioration se répercuteront au niveau des coûts et des délais.

Pour ces raisons, il est nécessaire de définir avec précision dès la conception du projet des hypothèses de drainage en liaison avec les prévisions météorologiques et hydrogéologiques du site (*cf.* chapitre 1-2 « critères à prendre en compte lors d'une étude de drainage » et schéma n° 6).

Pendant cette phase de travaux, les objectifs poursuivis avec les techniques de drainage sont les suivants :

1 - Portance et circulation de chantier ;

2 - Amélioration de l'état hydrique des matériaux à extraire ;

3 - Interception des venues d'eau en déblai ;

4 - Interception des venues d'eau en remblai (stabilisation des talus de déblai et parfois des versants naturels).

2.2.1 - Portance et circulation de chantier

La portance varie suivant la teneur en eau, surtout pour les sols fins difficilement drainés.

Différentes solutions peuvent être proposées en fonction de la nature des sols, de la position de la nappe et des conditions météorologiques :

1e drainage par fossés ou tranchées latérales pour les sols drainants ; l'efficacité de ce dispositif sera fonction également de l'état de surface, d'où l'importance du réglage de surface (pente en travers).

lorsque le drainage est insuffisant pour améliorer la portance, on envisagera soit :
- l' apport de matériaux non sensibles à l'eau en piste de chantier :
  - suffisamment dimensionnée, cette piste pourra être réutilisée dans la couche de forme ;
  - souvent réalisée en matériaux graveleux drainants (piège à eau), la piste devra être conçue pour permettre une évacuation rapide des eaux infiltrées (profil en toit accentué et fossés latéraux, voire tuyaux drainants à la base) ;
- le traitement des sols selon les nécessités et les possibilités.

On rappelle que les règles de l'art imposent le maintien des exutoires et des fossés, l'entretien des surfaces (réglage, lissage et compactage) *cf.* CCTG Travaux [8].

Le cas particulier des zones compressibles doit être traité à part : si le problème de la portance peut être réglé par la mise en place de pistes épaisses à l'avancement (éventuellement après curage), les problèmes posés par l'amplitude et la durée des tassements sous surcharge imposent souvent le recours à des techniques particulières de drainage visant à expurger l'eau du sol support plus rapidement par le biais de drains verticaux ou de techniques plus pointues. Ces méthodes particulières ne sont pas traitées dans ce guide [14].

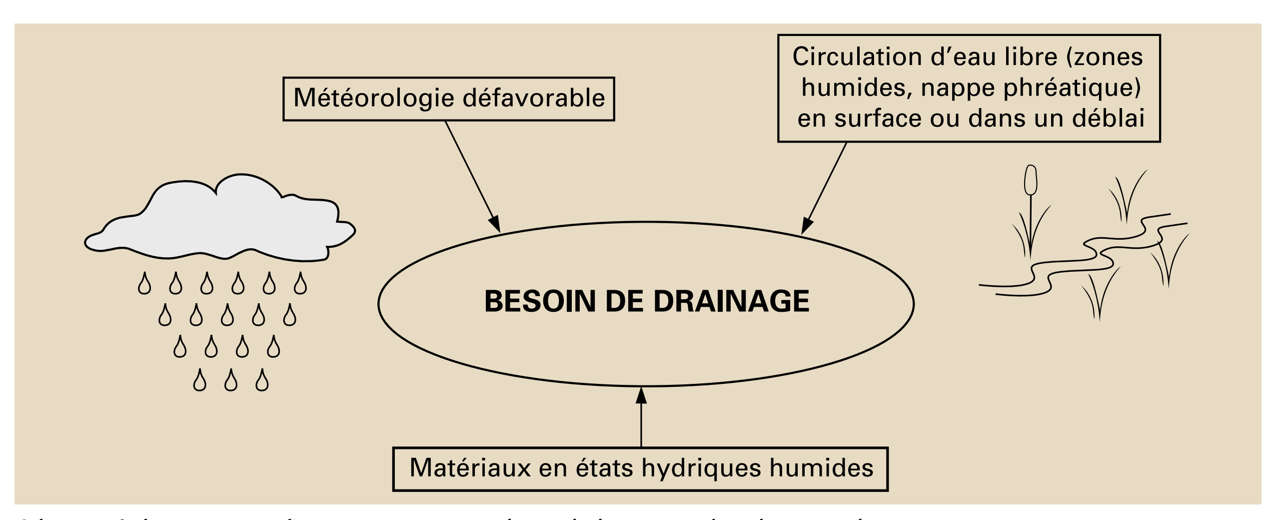


Schéma n°6 : les trois principales causes provoquant un besoin de drainage en phase de travaux de terrassement

2.2.2 - Amélioration de l'état hydrique des sols à réutiliser

L'amélioration n'est possible qu'au sein de matériaux aptes au drainage et à condition que la durée du drainage précédant l'extraction du matériau soit suffisante (*cf.* annexe 2) ce qui impose la mise en place du système de drainage bien avant les terrassements proprement dits.

Il ne faut cependant pas en attendre de miracle : dans la plupart des sols fins, les délais sont trop importants, la succion trop élevée ce qui ne permet pas d'obtenir (même si le drainage apporte une réelle amélioration) un abaissement suffisant de la teneur en eau pour une réutilisation en l'état.

En complément, les solutions consisteront à favoriser l'évaporation (foisonnement - mise en place en couches fines et étendues), à mélanger avec des matériaux plus secs, à traiter au liant hydraulique (le plus souvent à la chaux vive) ou à mettre en œuvre le matériau trop humide dans des conditions adaptées (compactage moyen ou faible mais en contrepartie limitation des épaisseurs pour éviter des tassements trop importants). Ces techniques sont développées dans le guide « Réalisation des remblais et des couches de forme » [9].

Les dispositifs les plus couramment adoptés pour améliorer l'état hydrique de matériaux de déblai, des sols supports de remblai et des sols servant pour une piste de chantier sont :

• les fossés profonds ;

• les écrans drainants ou les tranchées drainantes en talus (qu'il est parfois possible de mettre en place avant terrassement, même sans exutoire gravitaire, par pompage ou dépression : pompe à vide) ;

• drainage vertical (*cf.* tableau n°2).

Dispositif de drainage	Conditions d'utilisation	Inconvénients
Fossé profond	Dispositif adapté en période de pré-terrassement pour améliorer les conditions hydriques des sols moyennement à peu perméables se prêtant au drainage (Tableau n°14 annexe 2). Réalisable avec des moyens classiques, pour des profondeurs d'action ≤ 5 mètres (éventuellement 6 ou 7 mètres selon les pelles). Convient pour des pentes de l'ordre de 2,5 % ou moins.	Génère des matériaux de déblai à évacuer ou à stocker. Organisation de la sécurité du chantier (accès restreint, balisage, pente de talus adaptée...). Diminution du volume global des déblais réutilisables. Ne convient pas pour des matériaux facilement érodables.
Tranchée ou écran drainant	Dispositif à privilégier lorsque l'on cherche également une stabilisation des talus de déblai dans le long terme ou une diminution des pressions interstitielles. Adapté pour stabiliser des matériaux homogènes et rabattre un niveau d'eau. Conception pour des ouvrages courants jusqu'à 6 ou 7 mètres de profondeur, et jusqu'à 20 mètres avec des matériels particuliers (haveuse). Convient pour toutes les pentes de profil en long. Génère peu de déblai, et s'intègre discrètement au projet. Peut fonctionner temporairement sans exutoire gravitaire (pompe à vide).	Nécessite des moyens en matériel et matériaux spécifiques, devant être prévus par avance. Nécessite des plans de récolement et un entretien programmé.
Drainage vertical par pompage	Adapté dans le cas de rabattement de nappe située dans un contexte d'alternance de couches perméables et peu perméables. Convient surtout aux sols très perméables où les débits sont élevés.	Nécessite des moyens en matériel et matériaux spécifiques, devant être prévus par avance. Contraintes de chantier.
Drainage vertical par pointe filtrante	Adapté pour le rabattement de nappe dans des matériaux sableux et pouvant présenter des phénomènes de boulance*.	Nécessite des moyens en matériel spécifique, devant être prévus par avance. Contraintes de chantier.

Le tableau n°2 : dispositifs d'amélioration des états hydriques des sols (cas d'utilisation les plus courants)

2.2.3 - Interception des venues d'eau en déblai

Venues d'eau généralisées et stabilisation de talus

C'est le cas traditionnel où la « ligne rouge » intercepte la « ligne bleue », c'est-à-dire lorsque les terrassements descendent sous le niveau de la nappe phréatique. Les conditions de terrassements pourront être en partie améliorées si :

• le profil en long est remonté au maximum en prenant en compte les objectifs de l'insertion paysagère ;

• le réseau de drainage est mis en place suffisamment à l'avance (voir § précédent) ;

• la période des terrassements est programmée en période de basses eaux[1].

Dans tous les cas de ce type, une étude hydrogéologique particulière s'impose (*cf.* annexe 1). Elle précisera en particulier les débits , les conditions de stabilité des talus et proposera des parades adaptées (rabattement de nappe, masque drainant, etc.)

Les solutions sont les mêmes que dans le cas précédent §2.2.2 (fossés tranchées, puits etc.) La différence essentielle réside dans la stabilisation des talus : si les solutions précédentes permettent de couper les venues d'eau, elles ne garantissent pas nécessairement la stabilité des talus (en particulier pour les fossés).

Pour assurer cette stabilité, on aura recours aux tranchées drainantes, aux fossés latéraux, à la mise en place de dispositifs tels que les masques et éperons drainants (à noter qu'il est parfois possible de limiter l'appareillage d'un seul côté lorsque les sens d'écoulement sont bien marqués et transverses par rapport au déblai).

Il faut par ailleurs rappeler que la solution « écran étanche » représente parfois une variante intéressante (surtout si l'écran peut jouer le rôle de soutènement : palplanches, parois moulées) (*cf.* schéma n°7*)*.



Photo n° 2 : fossé, utilisé pendant la phase terrassement et intégré au projet définitif, interceptant des venues d'eau circulant à l'interface entre des sables et un substratum argileux (A85 - Romorantin Theillay)

Venues d'eau ponctuelles

Dans les cas les plus courants d'arrivées d'eau ponctuelles (sources, zone faillée), la solution la plus fréquente est l'éperon drainant. L'eau est évacuée vers un collecteur drainant en pied de talus relié à un exutoire.

Lorsque l'on est confronté à certains matériaux rocheux où les écoulements empruntent des cheminements préférentiels, par exemple les calcaires avec leurs réseaux « karstiques », ces cas particuliers appellent des solutions spécifiques (fossés, collecteurs, puits) qui ne sont pas traitées dans ce guide.

Venues d'eau ponctuelles non prévisibles

L'étude géotechnique ne permet pas toujours de localiser toutes les venues d'eau ponctuelles. Dans les cas les plus simples, l'implantation et le dimensionnement définitif des ouvrages de drainage pourra se faire au cours des travaux de terrassement. Le marché prévoira une quantité estimative, précisée en cours de travaux par des constats contradictoires.

Par ailleurs, lorsque les désordres qui pourraient se manifester sont sans danger ni pour l'ouvrage ni pour les usagers et que les venues d'eau ne sont pas visibles au moment des travaux, une solution pragmatique consiste également à effectuer le minimum de travaux, à savoir un simple réglage, sur les talus et de laisser passer un premier hiver.

Ceci permettra de localiser avec précision les venues d'eau (eau gelée, débits plus importants, apparitions des premiers désordres), puis d'effectuer les travaux de drainage.

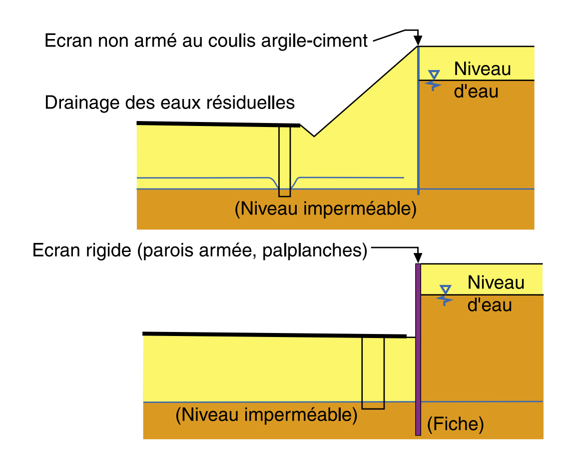


Schéma n° 7 : interception de la nappe, étanchéité latérale et stabilisation des talus de déblais par écran étanches ou soutènement étanches

(1) *Les nappes varient le plus souvent avec les saisons, les « hautes eaux » se situant le plus souvent en hiver-printemps, les « basses eaux » en été et début automne.*

2.2.4 - Interception des venues d'eau en remblai

Cas général

L'interception par drainage des venues d'eau dans le cas des remblais s'impose dans les cas suivants (*cf.* schéma n° 8 et tableau n° 3) :

Cas particulier des versants naturels

Le drainage, superficiel ou profond, est une des techniques les plus efficaces et les plus employées pour stabiliser les versants naturels instables (*cf.* guide « Stabilisation des glissements de terrain » [17]). Il est cependant utile de savoir que la plupart de ces désordres ne sont que la réactivation de désordres anciens et qu'ils sont par conséquent le plus souvent détectables par une bonne étude géotechnique* et hydrogéologique* avant les travaux (*cf.* annexe 1).

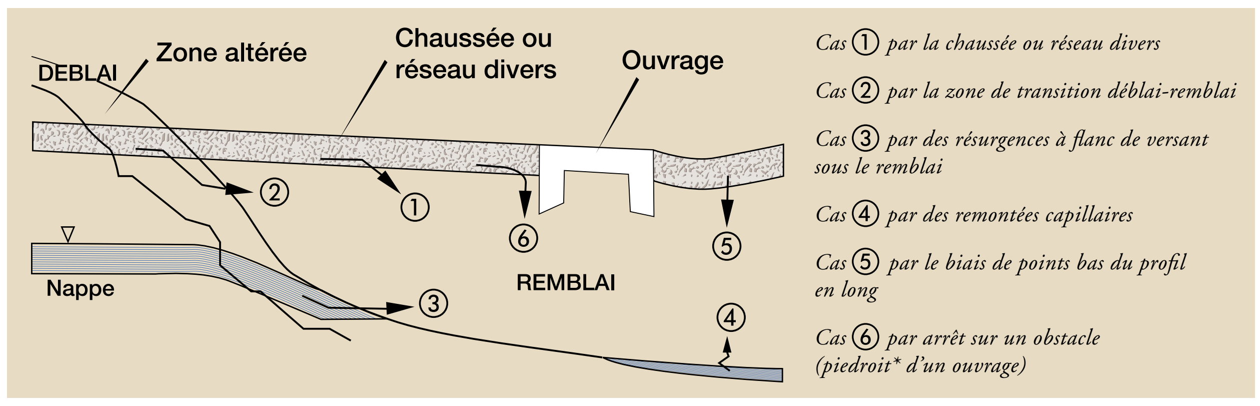


Schéma n° 8 : identification des possibilités d'alimentation en eau vers le remblai

Cas n°	Exigences de drainage	Suggestions de dispositifs (hors dimensionnement)
2	**Transition déblai-remblai** La zone de transition constituée de matériaux altérés souvent perméables favorise l'infiltration d'eau et la formation d'un piège à eau.	Cette zone fait l'objet d'une substitution par des matériaux drainants associés à des drains en fond de fouille, reliés à un exutoire.
3	**Résurgences en surface** L'étude géotechnique doit recenser les apparitions ou les résurgences d'eau à flanc de versant. Ces zones se retrouvant sous le remblai sont à l'origine d'infiltrations lentes et continues, pouvant « saper » la base du remblai.	Ces zones sont assainies au moyen de couche drainante et d'un drain relié à un exutoire.
4	**Zone de nappe affleurante** Les remblais en matériaux fins tels que des limons ou des cendres volantes, peuvent favoriser des remontées d'eau capillaire dans le corps de remblai lorsque le sol support de remblai se situe dans une zone compressible ou de nappe affleurante. Ce phénomène est d'autant plus important que le matériau utilisé est constitué de sols fins à l'état sec.	Il suffit d'intercepter les remontées d'eau par le biais d'une couche drainante dont l'épaisseur sera supérieure aux tassements estimés et sera d'au minimum 1 mètre. Les zones humides peuvent également faire l'objet d'une opération de drainage afin d'évacuer l'eau du sol support et améliorer la portance par des tranchées / écrans drainants ou des fossés profonds.
5	**Points bas du profil en long** Les points bas du profil en long font l'objet d'un drainage classique pour éviter l'accumulation d'eau dans le cas de matériaux sensibles à l'eau.	Réalisation d'épis drainants reliés à un exutoire.
6	Les **obstacles et les points durs** tels que les ouvrages d'art et soutènements doivent être drainés pour éviter l'accumulation d'eau au contact avec le remblai, du côté amont de la pente.	Si le matériau constituant le remblai technique est insensible à l'eau le drainage s'effectuera gravitairement, dans le cas contraire des solutions avec un géocomposite peuvent s'envisager.

Tableau n°3 : solutions de drainage pour les différents cas d'interception des venues d'eau en remblai

2.3 - Plates-formes support de chaussées

Elles sont constituées de deux entités :

• la couche de forme ;

• la Partie Supérieure des Terrassements (PST) dont la surface constitue l'arase (AR).

La définition de ces entités et de leur classement fait l'objet du guide « Réalisation des remblais et des couches de forme » [9] voir schéma n°9.

2.3.1. - Partie Supérieure des Terrassements (PST)

La définition du besoin de drainage de la Partie Supérieure des Terrassements (P.S.T.), répond à deux problématiques :

• le classement de la PST selon le guide [9] et son éventuelle amélioration : tous les sols, sauf ceux insensibles à l'eau (naturellement ou après traitement) ont des propriétés mécaniques qui s'altèrent avec l'augmentation de teneur en eau. Les opérations de drainage s'imposent donc lorsque la P.S.T est située dans un contexte hydrique défavorable et de surcroît constituée de matériau sensible à l'eau et au gel ;

• le traitement des points singuliers du profil en long : certains points singuliers du profil en long ou du profil en travers sont des zones d'accumulation potentielle d'eaux d'infiltrations et nécessitent ainsi un dispositif de drainage spécifique. Sans être exhaustif, on peut citer : les zones de transition déblai-remblai, les points bas en remblai, les fortes pentes, les points bas en dévers.

Classement et amélioration de la PST (Partie Supérieure des Terrassements)

La Partie Supérieure des Terrassements (PST) dont la surface constitue l'arase (AR) peut être constituée par :

• le sol en place (épaisseur prise en compte environ 1 m) ;

• une épaisseur moindre de sol en place traité aux liants hydrauliques ;

• une épaisseur variable de matériau de substitution ou d'apport.

La définition des cas possibles fait l'objet du guide pour la « Réalisation des remblais et des couches de forme »[9]. Selon ce document, la nature du support (sol en place ou remblai) sa sensibilité à l'eau et son état hydrique permettent de distinguer 7 cas de PST (PST0 à PST6). La qualité (Portance) de la PST différencie quant à elle 4 catégories d'arase (AR1 à AR4).

La prévision des besoins de drainage de la PST et des dispositifs possibles impose la connaissance et l'identification des sols supports (en particulier, appréciation de leur aptitude au drainage), des niveaux de nappe extrêmes (piézométrie) et des zones de venues d'eau ponctuelles. Le géotechnicien précisera notamment si des études spécifiques sont nécessaires pour préciser les premières informations. Dans certains cas, il pourra être important de réaliser une étude hydrogéologique sur au moins une année.

La connaissance des matériaux et des conditions hydrogéologiques influent sur les stratégies de réalisation des terrassements.

Le projet de drainage retenu sera issu de la confrontation économique des différentes techniques d'amélioration de l'arase (drainage, traitement ou substitution) en terme de faisabilité et d'efficacité, et des techniques (en particulier les épaisseurs) retenues dans le dimensionnement de la structure de chaussée.

Vis-à-vis du drainage, on peut distinguer les 3 cas suivants :

• **en déblai ou profil rasant :** dans la plupart des cas, on aura intérêt à prévoir un ouvrage utile en phase terrassement et qui pourra être repris comme ouvrage définitif. L'aspect sécurité est à prendre en compte dès la conception du projet (*cf.* guides [18] et [20]). Le tableau n° 4 propose le redimensionnement des PST-AR grâce aux dispositifs de drainage ;

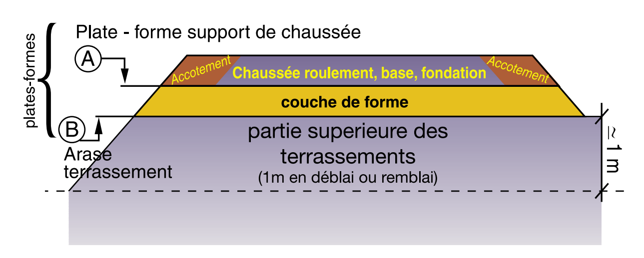
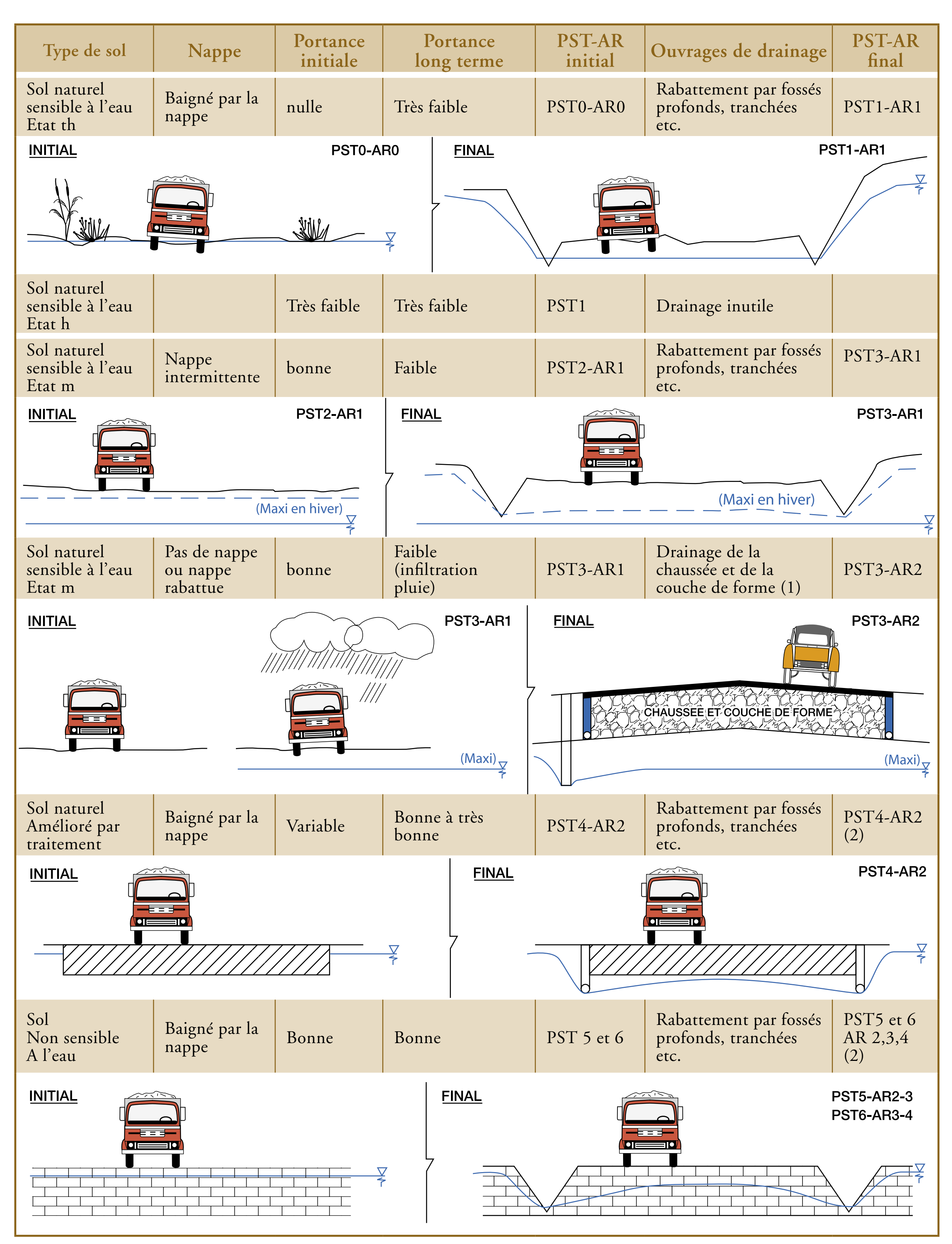


Schéma n° 9 : définition des différents termes



Type de sol	Nappe	Portance initiale	Portance long terme	PST-AR initial	Ouvrages de drainage	PST-AR final
Sol naturel sensible à l'eau Etat th	Baigné par la nappe	nulle	Très faible	PST0-AR0	Rabattement par fossés profonds, tranchées etc.	PST1-AR1
Sol naturel sensible à l'eau Etat h		Très faible	Très faible	PST1	Drainage inutile	
Sol naturel sensible à l'eau Etat m	Nappe intermittente	bonne	Faible	PST2-AR1	Rabattement par fossés profonds, tranchées etc.	PST3-AR1
Sol naturel sensible à l'eau Etat m	Pas de nappe ou nappe rabattue	bonne	Faible (infiltration pluie)	PST3-AR1	Drainage de la chaussée et de la couche de forme (1)	PST3-AR2
Sol naturel Amélioré par traitement	Baigné par la nappe	Variable	Bonne à très bonne	PST4-AR2	Rabattement par fossés profonds, tranchées etc.	PST4-AR2 (2)
Sol Non sensible A l'eau	Baigné par la nappe	Bonne	Bonne	PST 5 et 6	Rabattement par fossés profonds, tranchées etc.	PST5 et 6 AR 2,3,4 (2)

Tableau n° 4 : redimensionnement des PST - AR grâce aux dispositifs de drainage

(1) cf. § 2.3.2 : l'objectif étant d'éviter l'humidification du sol support de la chaussée, ce sera le domaine préférentiel des écrans drainants en rive de chaussée (EDRC). A noter que les dispositifs de drainage en base de couche de forme (dans le cas des couches de forme en matériau très perméable) tels que les drains, couches drainantes, même s'ils sont indispensables, ne peuvent garantir l'absence d'infiltrations.

(2) le drainage demeure nécessaire pour diminuer la sensibilité au gel de la structure et pour améliorer les conditions de terrassement.

• **en remblai :** pas de drainage de la PST (sauf cas particulier) ;

• **lorsque le besoin de drainage est nécessaire** pour la PST et la couche de forme, il pourra être judicieux d'envisager un ouvrage commun indépendamment du système d'assainissement superficiel, tel que le schéma de principe n° 10.

Le cas échéant, il conviendra de veiller à l'implantation des ancrages de supports (*cf.* § 4.1.2) par rapport au réseau de drainage pour éviter leurs perforations.

Les ouvrages sont divers, drains longitudinaux, tranchées, EDRC, couches drainantes, épis drainants etc. (*cf.* chapitre 4).

En cas de necessité on peut compléter le dispositif de drainage par :

• des drains transversaux dans la Partie Supérieure des Terrassements (*cf.* schéma n° 11) ;

• des drains obliques sur l'axe (en « arêtes de poisson »), pour permettre leur écoulement vers les drains longitudinaux ou un drain longitudinal axial (*cf.* schéma n° 12).

Il faut dimensionner la distance entre deux drains et la profondeur des drains en fonction des caractéristiques hydrogéologiques et géotechniques du site et du projet.

Remarque relative au gel :
• le drainage, en réduisant la quantité d'eau, contribue à la protection de la chaussée vis-à-vis du gel. Ce dispositif n'élimine cependant pas totalement les risques (cas des sols fins à succion élevée) ;
• le mode de dimensionnement de la chaussée assure en principe à long terme la protection au gel de la PST par les couches de chaussée ou couches de forme.

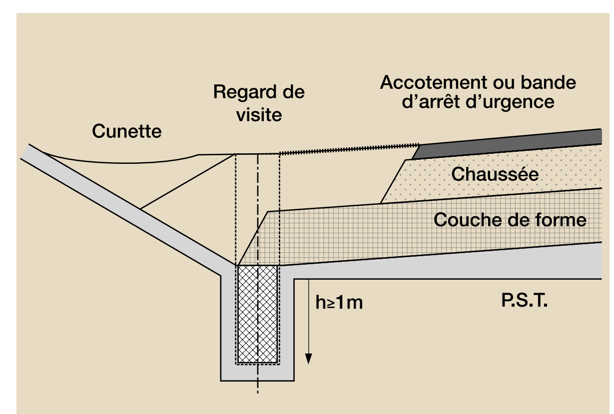


Schéma n°10 : tranchée drainante implantée en pied de talus de déblai pour drainer la PST

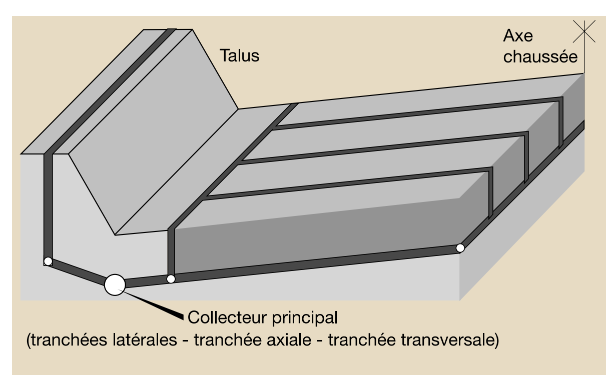


Schéma n° 11 : exemple de disposition de drainage complexe (talus - arase)

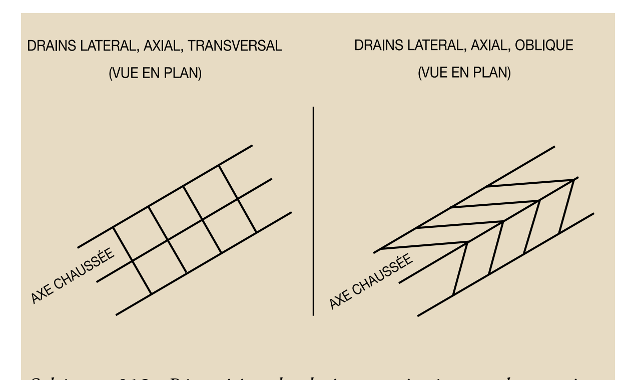


Schéma n °12 : Répartition des drains ou saignées complementaires

Traitement des points singuliers du profil en long

L'arase des terrassements ou la PST doivent faire l'objet de drainage dans les cas suivants du profil en long : points bas, zones de transition déblai-remblai et pentes importantes.

• Les points bas : ils seront systématiquement drainés par un dispositif de type épi drainant ;

• la zone de transition déblai-remblai : elle est traitée spécifiquement et de manière quasi systématique. L'objectif est de réaliser une purge des matériaux de surface et de drainer les arrivées d'eau éventuelles provenant du déblai (*cf.* schémas n° 13 et 14) ;

• les zones de forte pente (≥ 5 %) et de surcroît sur un linéaire important (≥ 500 mètres) favorisent la collecte d'eau et leur mise en charge éventuelle au niveau des couches en matériau granulaire (PST ou couche de forme). La solution permettant d'éviter ce cas de figure est de capter l'eau régulièrement par des épis drainants. (*cf.* schéma n° 15)

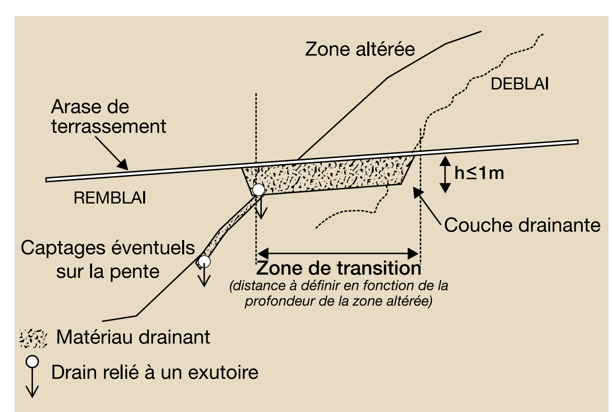


Schéma n° 13 : exemple d'utilisation d'une couche drainante au passage déblai / remblai, permettant l'amélioration de la zone altérée - vue en coupe

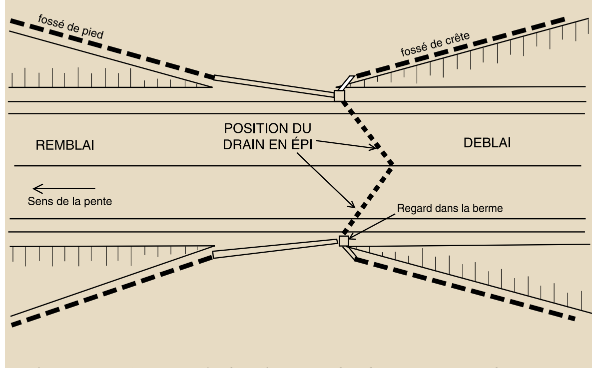


Schéma n° 14 : exemple d'utilisation des drains en zone de transition déblai / remblai - vue en plan

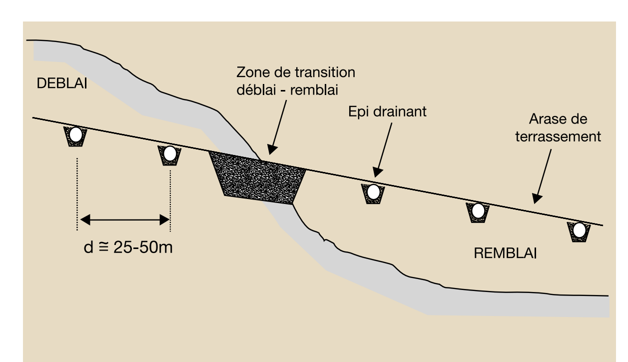


Schéma n° 15 : schéma de principe de positionnement de drains transversaux tous les profils ou tous les deux profils au niveau de l'arase des terrassements - vue en coupe

2.3.2 - Couche de forme

Le dimensionnement de la couche de forme est prévu dans le guide « Réalisation des remblais et des couches de forme » [9] :

• dans le cas d'une couche de forme constituée par les sols en place : le drainage ne s'impose que sous le niveau de la nappe, pour éviter les remontées de nappe au sein de la couche de forme ou l'ennoyage du projet. Il s'agira le plus souvent de tranchées latérales ;

• dans le cas d'une couche de forme traitée aux liants hydrauliques : le matériau traité pourra être considéré comme neutre (indifférent au drainage), le drainage s'impose cependant sous le niveau de la nappe pour éviter les remontées d'eau par la fissuration. Il s'agit le plus souvent de tranchées latérales qui peuvent être combinées avec le drainage de la PST ;

• dans le cas d'une couche de forme rapportée en matériau insensible à l'eau : le drainage est indispensable lorsqu'il y a risque de création d'un véritable piège à eau qui pourra être alimenté par les eaux pluviales dès la pose, avant la couverture par les chaussées. Le drainage s'effectuera le plus souvent soit par tranchées latérales, soit par drains longitudinaux latéraux disposés à la base de la couche de forme combinés si besoin avec le drainage de la PST (*cf.* schémas n° 16, 17, 18 et 19).

Dans tous les cas, si le rejet s'effectue vers un fossé, le projeteur prendra soin de caler les exutoires au-dessus du niveau d'eau maximum des fossés. (*cf.* schéma 20).

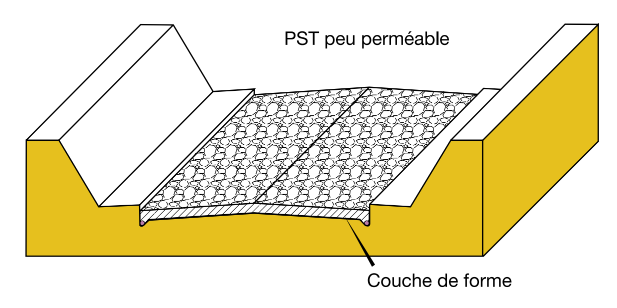


Schéma n° 16 : en déblai ou profil rasant en zone hors nappe

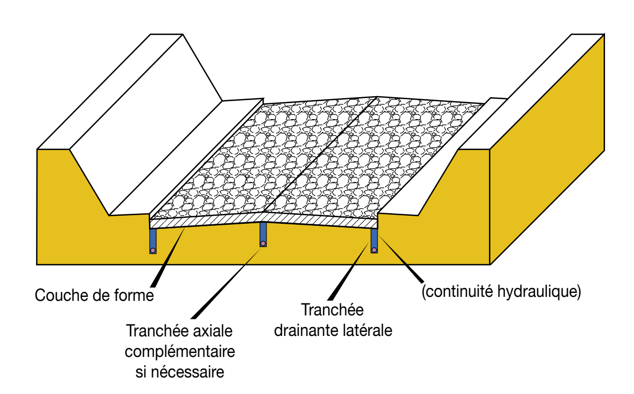


Schéma n° 17 : en déblai ou profil rasant en zone sous nappe drainée

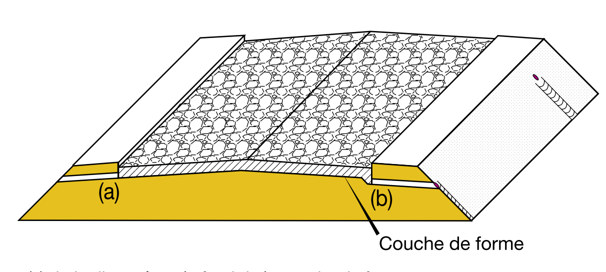


Schéma n° 18 : en remblai.

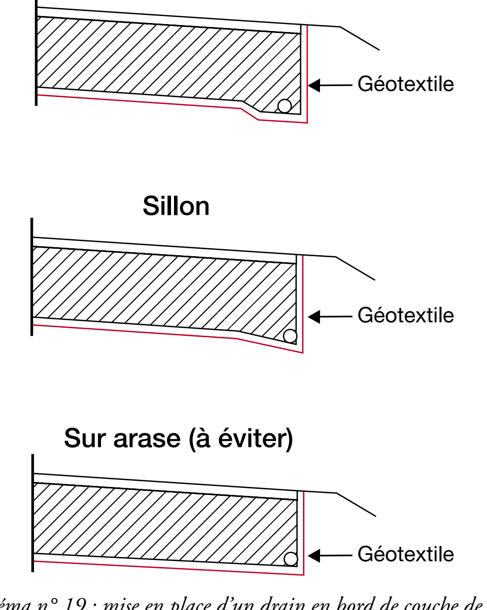


Schéma n° 19 : mise en place d'un drain en bord de couche de forme.

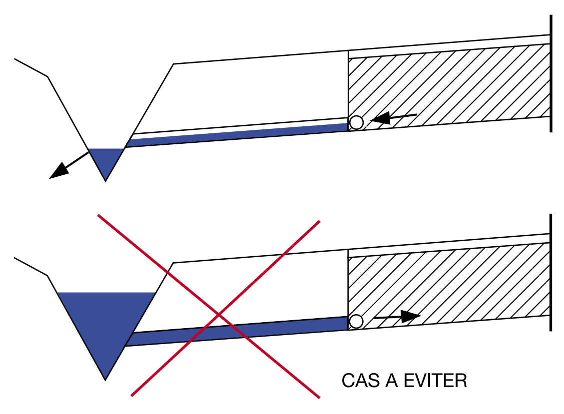


Schéma n° 20 : calage des exutoires

2.4 - Chaussée

Une structure de chaussée peut voir ses caractéristiques mécaniques et ses performances diminuer très nettement dans le temps en présence d'eau, souvent à l'origine de pathologies généralement irréversibles : apparitions de flaches*, affaissements de rives, faïençage, remontées de boues, battement de dalle. C'est pour cela que l'on recherchera également à drainer le corps de la chaussée.

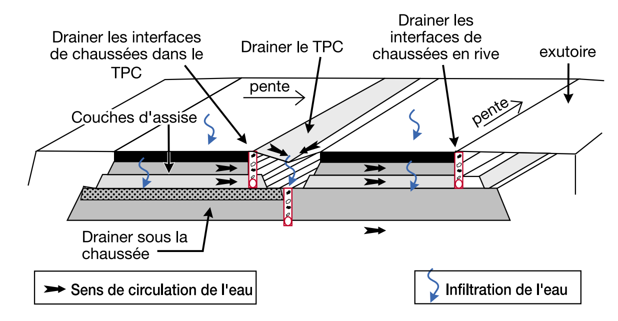


Schéma n° 21 : fonctions à assurer et emplacements possibles des dispositifs de drainage

Les besoins de drainage de la structure de chaussée dépendent étroitement de la nature des matériaux et des points singuliers (Terre-Plein Central et de la Bande d'Arrêt d'Urgence).

On pourra se reporter au chapitre 3 pour la description des désordres rencontrés sur chaussées en l'absence de drainage et pour le recensement des points singuliers de la chaussée vis-à-vis du drainage.

2.4.1 - Dispositifs de drainage des couches de chaussées

Le tableau n° 5 synthétise les principales exigences de drainage, en apportant des éléments de réponse en terme de dispositifs de drainage possibles.

Couche de chaussée	Exigences de drainage	Dispositifs de drainage possible
Matériaux bitumineux	Pas d'exigence de drainage stricto sensu (sauf enrobés drainants) mais rôle de protection des couches sous-jacentes à assurer par : • entretien du revêtement, imper-méabilisation… ; • contrôle du compactage des joints, du collage des couches.	
Matériau traité aux liants hydrauliques	• évacuation des eaux infiltrées dans les fissures.	• en entretien : imperméabilisation du revêtement de surface ; • en prévention : préfissuration des couches traitées aux liants hydrauliques ; • **solution 1** : drainage latéral sur la hauteur de la couche en rive de chaussée côté accotement ou côté terre-plein central (selon la pente du profil en travers), par des tranchées ou des écrans drainants • **solution 2** : drainage latéral par les accotements ou le terre-plein central (selon la pente du profil en travers), constitués en matériau drainant et une évacuation des eaux vers un exutoire par des drains.
SOLUTION 1 : préfissuration ; surface imperméabilisée ; matériau traité aux liants hydrauliques		SOLUTION 2 : préfissuration ; surface imperméabilisée ; matériau traité aux liants hydrauliques ; matériau drainant
Béton	• évacuation des eaux infiltrées dans les fissures.	• en prévention : étanchéification des fissures par des joints en produit imperméable (joint d'arrêt, de fin de journée, joint longitudinaux et transversaux, contacts entre la dalle et le terre plein central, la bande d'arrêt d'urgence ou l'accotement) ; • réalisation d'une couche drainante sous la structure béton ; • pour les structures en béton armé, association d'un drainage latéral par : - **solution 1** : des ouvrages longitudinaux tels tranchée ou écran drainant ; - **solution 2** : des accotements en matériau drainant et une évacuation des eaux vers un exutoire par des drains.
PREVENTION : dalle béton épaisse ; étanchéification des fissures et des joints ; GNT ; couche drainante	SOLUTION 1 : béton armé continu ; GNT ; béton maigre	SOLUTION 2 : béton armé continu ; béton maigre ; matériau drainant
Graves non traitées	• évacuation des eaux libres, diminution des pressions interstitielles ; • éliminer les accumulations d'eau dans les points bas.	• en prévention et en entretien : imperméabilisation du revêtement de surface ; • choix d'une GNT drainante : - solution 1 : drainage latéral sur la hauteur de la couche en rive de chaussée côté accotement ou côté terre-plein central (selon la pente du profil en travers), par des tranchées ou des écrans drainants ; - solution 2 : drainage latéral par les accotements ou le terre-plein central (selon la pente du profil en travers), constitués en matériau drainant de perméabilité supérieure à celle de la GNT et une évacuation des eaux vers un exutoire par des drains ; • drainage transversal des points bas par des épis drainants.
SOLUTION 1 : GNT ; tranchées ou écrans drainants		SOLUTION 2 : GNT ; matériau drainant

Tableau n° 5 : dispositifs de drainage en fonction des exigences de drainage

2.4.2 - Dispositifs de drainage des points singuliers

Accotement et Bande d'Arrêt d'Urgence (BAU)

L'eau infiltrée sous accotement ou Bande d'Arrêt d'Urgence (BAU), doit s'évacuer soit par un drain au point bas du profil en travers soit par un fossé profond latéral lorsqu'il y a continuité de la structure sous BAU jusqu'au fossé.

Terre-plein central

Pour permettre l'implantation des supports pour glissières, des supports pour l'éclairage, des systèmes de collecte des eaux de ruissellement, l'ouvrage de drainage pourra être décalé de l'axe du terre-plein central.

Le système de drainage doit amener les eaux collectées, soit au passage déblai/remblai vers une demi-traversée, soit à l'amont d'un ouvrage de type passage inférieur (portique, cadre ou buse métallique) vers une demi-traversée également.

Dans tous les cas, le drain doit être assez profond pour supporter sans dommage la circulation de chantier (*cf.* chapitre 4.3.1, les caractéristiques des traversées). Il devra être positionné de façon à pouvoir collecter les eaux circulant au dessus d'un niveau peu perméable (la plate-forme support de chaussée généralement).

Dans le cas des chaussées avec inversion de dévers, les eaux ont tendance à se concentrer dans le terre-plein central. Il faut prévoir un drain enterré disposé au-dessus du collecteur (*cf.* schéma n° 22).

Schéma n° 22 : implantation d'une tranchee drainante dans le TPC

le drain est donc particulièrement vulnérable aux percements effectués en aveugle après sa mise en place. Une inspection de ce drain en fin de travaux semble une précaution élémentaire

Îlot séparateur, îlot directionnel et îlot obstacle

Selon la pente de la plate-forme support, un ou deux drains (obstrués en amont) seront posés en limite de chaussée sous l'îlot et raccordés en fin d'ouvrage par une demi-traversée vers un système collecteur en rive de chaussée. Ces drains devront être résistants pour ne pas s'écraser lors de la mise en œuvre des matériaux constituants l'îlot.

Giratoire

Les règles de sécurité y excluent les fossés latéraux au profit des dispositifs enterrés.



3 - Drainage d'une chaussée existante

3.1 - Types de désordres rencontrés sur chaussées

Une teneur en eau excessive dans les couches de chaussées due à des infiltrations d'origines diverses (eaux de ruissellement, eaux internes...) provoque de façon très significative une accélération du vieillissement des chaussées. Ces dégradations augmentent lorsque des phénomènes de gel-dégel s'additionnent.

Les couches de roulement des chaussées laissent passer des quantités d'eau non négligeables surtout lorsqu'elles vieillissent mal.

Ce chapitre présente les dégradations constatées suivant le type de chaussées et propose une démarche pour élaborer le diagnostic et permettre d'envisager des solutions de drainage possibles.

3.1.1 - Cas des chaussées souples

Les Graves Non Traitées (GNT) qui constituent l'assise des chaussées souples présentent un comportement mécanique qui dépend étroitement de leur teneur en eau. L'augmentation des teneurs en eau résiduelles induit une baisse du module de rigidité et une augmentation des déformations permanentes.

Les structures de chaussées en GNT doivent plus que toutes autres faire l'objet d'un drainage soigné, car les pathologies qui se développent apparaissent rapidement sur plusieurs mètres (*cf.* photo n° 3). Le manque de drainage pour les chaussées sous-dimensionnées se traduit alors par :

• des déformations permanentes. L'orniérage longitudinal à grand rayon de courbure qui se crée sous le passage des roues des poids lourds et dont la largeur de trace peut atteindre 0,80 m est le plus caractéristique. On note aussi l'apparition de flaches* d'affaissement de rives ;

• de la fissuration longitudinale dans les bandes de roulement. Elle apparaît dans les bandes de roulement, se ramifie et se transforme en un faïençage à mailles plus serrées.

Une chaussée souple soumise aux infiltrations avant une période de gel présente en période de dégel une accélération de ces deux types de dégradations.



Photo n° 3 : exemple d'orniérage d'une chaussée souple causé par l'assise non traitée et le sol support (photo Sétra)



Photo n° 4 : développement de l'érosion autour d'une fissure dans des graves hydrauliques de structures renforcées, R.N. 59 à St Dié (photo J.L. Bieth, Cete de l'Est - Lrpc Strasbourg)

3.1.2 - Cas des chaussées rigides ou semi-rigides

Les matériaux traités aux liants hydrauliques sont peu ou pas sensibles à l'action de l'eau, grâce aux caractéristiques mécaniques développées par la prise hydraulique.

Les infiltrations d'eau sont favorisées dans les cas suivants :

• en présence de fissures transversales de retrait ce qui augmente la taille des fissures et diminue le collage entre couches ;

• lorsque la fissuration verticale atteint le sol support, il y a perte de portance, développement du phénomène de pompage, remontées de boue, puis du faïençage de forme circulaire et enfin des flaches* et des nids de poules (*cf.* photo n° 4) ;

• lorsqu'il y a un défaut de compactage du joint entre les bandes formées à la mise en œuvre.

Dans le cas des structures mixtes, on observe les mêmes types de dégradations (quoique plus rarement) liées à la nature de la couche de fondation. Ces dégradations sont atténuées toutefois en raison de l'épaisseur des couches bitumineuses.

3.1.3 - Cas des chaussées en béton de ciment

Pour les chaussées rigides, le « pompage » provoqué par l'accumulation d'eau au droit des joints de dalles et en rives a été reconnu comme étant la cause majeure des dégradations des chaussées en béton par battement de dalles et mise en « marches d'escalier » (*cf.* photo n° 5).

Photo n° 5 : exemple de dégradation dans une chaussée en béton (photo Sétra)

3.1.4 - Cas des couches en matériaux bitumineux

L'effet de l'eau est peu significatif par rapport aux dommages crées par la fatigue mécanique. En revanche, l'apparition de fissures favorisera l'infiltration d'eau dans les structures sous-jacentes.

Il n'est pas nécessaire de drainer ces couches, mais leur entretien est primordial, car il est garant de l'imperméabilisation par protection des couches sous-jacentes.

3.1.5 - Cas des chaussées en matériaux modulaires (pavés et dalles)

L'eau peut s'accumuler dans le lit de pose en sable.

3.1.6 - Recensement des points singuliers de la chaussée vis-à-vis du drainage

Certains points singuliers nécessitent un drainage adapté par exemple :

• les îlots centraux et le TPC (souvent constitués de Grave Non Traitée ou de béton maigre) (*cf.* photo n° 6) ;

• les piédroits d'ouvrage.

L'eau peut facilement s'y infiltrer et se concentrer soit du fait d'une forte perméabilité soit du fait de la fissuration importante ou d'un mauvais état de surface.

L'accumulation progressive d'eau peut créer une zone de faiblesse mécanique ou, le plus souvent, être un point de ressuage de l'eau accumulée, ce qui constitue une zone sensible (glissance, gel qui sont des facteurs d'accident notamment pour les 2 roues).



Photo n° 6 : les résurgences depuis les îlots centraux (photo CETE Normandie-Centre, LRPC Blois)

3.2 - Établissement du diagnostic

Le diagnostic doit permettre la distinction entre les dégradations liées à l'eau et les dégradations liées à un sous-dimensionnement de la structure ou à un autre problème de qualité de l'ouvrage.

3.2.1 - Recueil des informations

Le risque que ces dégradations se développent rapidement en présence d'eau excédentaire, peut s'évaluer à partir des six paramètres principaux suivants :

• **le manque d'étanchéité du revêtement (r)** : le mauvais état général du revêtement, perméabilité des revêtements, fissurations ... sont des causes d'infiltration d'eau dans la structure ;

• **l'assainissement des eaux superficielles (a)** : fossés inexistants, entretien des fossés et des accotements inexistant, retenues d'eau, accotements surélevés, importance des débits observés, contexte topographique défavorable ;

• **l'environnement hydrogéologique (h)** de la chaussée : importance de l'alimentation en eau par le bassin versant, résurgences d'eau, nappe affleurante, remontées d'eau capillaire ;

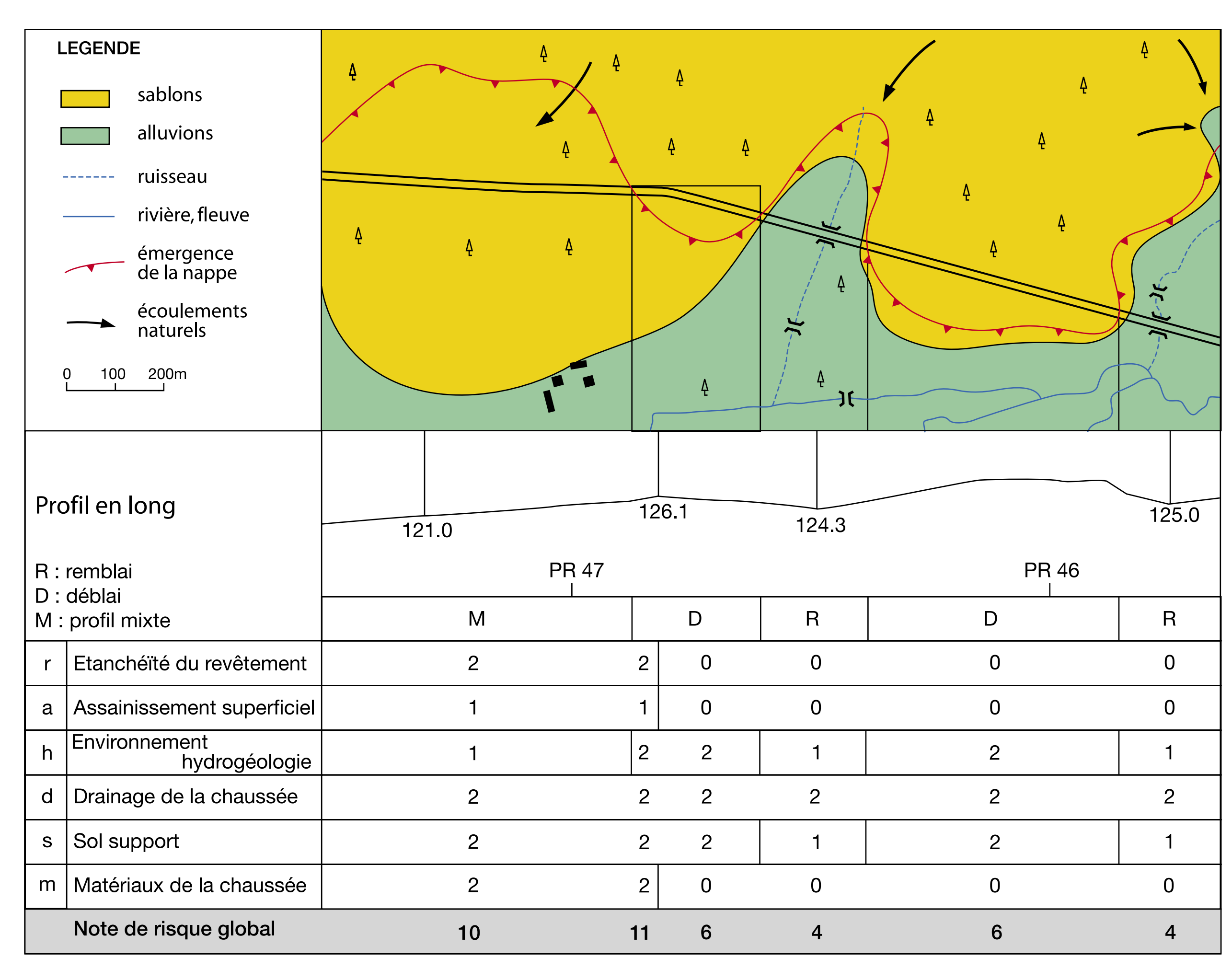
• l'efficacité **du dispositif de drainage interne** éventuel **(d)** : mauvais état des drains et des exutoires ;

• **la sensibilité à l'eau** et l'aptitude au drainage **des sols supports (s)** ;

• et la **sensibilité à l'eau** et l'aptitude au drainage **des couches de matériaux de chaussées (m)**.

L'analyse des besoins de drainage résulte d'un constat de terrain (visite en continu de l'itinéraire qui permettra de détecter les secteurs sensibles et de faire la part entre un déficit de drainage et un défaut structurel du corps de chaussée).

Un recueil d' informations devrait comprendre, outre le schéma d'itinéraire, un relevé de dégradations, un dossier de récolement des dispositifs d'assainissement s'il existe et si cela est nécessaire une étude géotechnique* ou hydrogéologique*. Il peut être envisagé également une inspection visuelle des regards et des exutoires, de réaliser des sondages, des mesures de déflexion...



		M		D	R	D	R
r	Etanchéïté du revêtement	2	2	0	0	0	0
a	Assainissement superficiel	1	1	0	0	0	0
h	Environnement hydrogéologie	1	2	2	1	2	1
d	Drainage de la chaussée	2	2	2	2	2	2
s	Sol support	2	2	2	1	2	1
m	Matériaux de la chaussée	2	2	0	0	0	0
	Note de risque global	10	11	6	4	6	4

Tableau n° 6 : exemple de synthèse de notes sur un itinéraire (note 0 = absence de problème, note 2 = problème important).

3.2.2 - Élaboration du diagnostic

Le diagnostic pourra être réalisé à l'aide des outils décrits dans les paragraphes suivants.

Systèmes de notation

À chaque section identifiée, une note de risque est attribuée dans un tableau d'analyse et de constat. En sommant les facteurs de risque, le schéma d'itinéraire permet de repérer les zones sensibles nécessitant a priori du drainage. Les zones les plus sensibles ont la note la plus élevée.

L'évaluation des conditions hydriques de l'itinéraire est établie par sections « homogènes » de 200 m de longueur, pour chacun des paramètres r, a, h, d, s, m décrits ci-après et en utilisant un barème de notation à trois niveaux :
0 = conditions ne favorisant pas les dégradations par l'eau (et le gel) ;
1 = conditions moyennes pouvant contribuer à l'apparition ou à l'évolution rapide des dégradations par l'eau (et le gel) ;
2 = conditions déterminantes réunies pour l'apparition ou l'évolution rapide des dégradations par l'eau (et le gel).

Interprétation du tableau

Étanchéité du revêtement, r
r = 0 : couche de roulement en enrobés bitumineux en bon état (compacité de l'enrobé > 93 % pour 95 % des mesures) ;
r = 1 : couche de roulement en enrobés de compacité insuffisante ou constituée par un enduit superficiel en bon état ;
r = 2 : couche de roulement relativement perméable $>10^{-7}$ m/s et comportant des fissures non étanchées.

Assainissement superficiel, a
a = 0 : assainissement superficiel entretenu et efficace (fossés en bon état, accotements imperméabilisés ou très bon ruissellement sur les accotements vers les fossés...), contexte topographique favorable au ruissellement (route en remblai de hauteur > 1m). Le profil en long permet un écoulement satisfaisant des eaux de ruissellement ;
a = 1 : assainissement superficiel peu efficace, écoulement des eaux de ruissellement moyen (présence de végétation dans les fossés), fil d'eau en rive de chaussée bien que les accotements soient dérasés, accotements végétalisés perméables. La route (ou la section considérée) est en profil mixte ou en successions de déblais et de remblais ;
a = 2 : assainissement superficiel inefficace, fossés inexistants ou en mauvais état, accotements surélevés ou très déformés retenant les eaux de ruissellement. La route (ou la section considérée) est située en terrain plat. L'écoulement des eaux dans les fossés et dans les ouvrages de drainage est très médiocre, les exutoires sont inopérants.

Environnement hydrogéologique de la chaussée, h
h = 0 : la nappe est inexistante ou très profonde (à plus de 5 m sous la chaussée). La chaussée n'intercepte ni circulation d'eau, ni résurgence permanente ou non ;
h = 1 : possibilités d'alimentation en eaux internes par le bassin versant latéral ;
h = 2 : profil mixte avec alimentation en amont, zone de transition déblai - remblais, forte puissance du bassin versant latéral (alimentations en eau du corps de la chaussée par des circulations dans les fissures de la roche ou par des couches plus perméables dans le profil géotechnique naturel). La nappe varie dans une plage qui recoupe la PST, voire la couche de forme et la fondation de la chaussée.

Drainage de la chaussée, d
d = 0 : un dispositif de drainage interne en bon état existe. Sa position dans le profil en travers lui permet d'évacuer les circulations d'eau dans la structure de chaussée et dans le sol support, plus particulièrement dans les zones critiques ;
d = 1 : un dispositif de drainage existe, sa position dans le profil en travers est assez satisfaisante, mais l'état d'entretien du réseau de drainage est tel qu'il n'est pas d'une efficacité absolue ;
d = 2 : pas de dispositif de drainage ou dispositif ne fonctionnant pas ou inadapté au contexte local.

Sensibilité des sols support, s
s = 0 : sol insensible à l'eau ou sols support traités (avec effet durable dans le temps) ;
s = 1 : sols supposés sensibles à l'eau, mais ne manifestant pas de signe de sensibilité à l'eau ;
s = 2 : sols sensibles à l'eau.

Sensibilité des matériaux d'assise de chaussée, m
m = 0 : BAC, Grave bitume (base et fondation) ;
m = 1 : Graves hydrauliques, béton, structure mixte ;
m = 2 : Graves non traitées.

Grille de décision

La note de synthèse s'établit par sections élémentaires d'au moins 100 mètres de long. Elle correspond à la Note de risque hydrique = r + a + h + d + s + m
Cette note représente le risque dû à une combinaison de facteurs défavorables et permet l'évaluation d'un itinéraire quel que soit son état.
La note de risque varie entre 0 et 12 et fait apparaître les zones sensibles à partir de l'échelle de risque suivante :
• pas de risque d'évolution : 0 à 3
• risque faible : 4 à 7
• risque important d'évolution : 8 à 12.

La mise en évidence des zones sensibles selon la procédure décrite ci-dessus permet de définir les sections d'intervention quand il y a convergence entre :
• les zones avec notes de risque les plus élevées : note de risque élevée comprise entre 8 et 12 ;
• l'analyse de l'état structurel de la chaussée : déflexions dm > 200/100 mm, relevé de dégradations significatif de désordres (battement de dalle, remontées de boues, orniérage longitudinal...).

S'il y a convergence entre une note de risque élevée et un mauvais état structurel de la chaussée, c'est que les dégradations de la chaussée sont dues à l'eau ou aggravées par elle et que des travaux de drainage sont justifiés.
S'il n'y a pas convergence, c'est que les dégradations sont d'un autre ordre (sous-dimensionnement de la structure par rapport au trafic, mauvaise qualité des matériaux...). Dans ce cas, la mise en place de dispositifs de drainage n'apporterait pas à elle seule la solution attendue.

3.3 - Définition des solutions de travaux

Les dispositifs de drainage à envisager peuvent être multiples. L'analyse des paramètres ayant servi à établir la note de risque doit aider à les définir. Le tableau n° 7 résume les différents moyens d'action (les dispositifs de drainage proprement dit étant décrits plus en détail dans le chapitre 4) ; ces moyens ne devront pas dégrader la situation par rapport au traitement des obstacles latéraux dans le cas du reprofilage des fossés par exemple [20].

3.4 - Dimensionnement ou évaluation des débits à drainer au travers de la chaussée ancienne

(cf. annexe 3.2)

Dans le cas d'une chaussée ancienne, le dispositif de drainage doit permettre l'évacuation de l'eau en excès dans la structure de chaussée et éventuellement dans le sol support jusqu'à 1 m sous la structure de chaussée (PST) ; on pourra se contenter de drains ou dispositifs équivalents de Ø 100 mm à 150 mm pour un débit maximum largement inférieur à 10000 l/h pour 100 m linéaire : un drain de Ø 100 à 150 mm sera presque toujours suffisant.

Les autres cas feront l'objet d'études spécifiques : rabattement de nappes, fissuration importante ou état de surface fortement dégradé.

Paramètre	Exigences de drainage	Solutions et dispositifs de drainage possibles
Etanchéité du revêtement (r)	Imperméabiliser le revêtement	Pose d'un enduit, d'un pontage, fraisage et réfection de la couche de roulement.
Assainissement superficiel (a)	Rétablir les écoulements, éviter les stagnations d'eau	Remise en état des systèmes d'assainissement : • examen des sens d'écoulement des eaux, augmentation des pentes, création d'exutoires plus opérants ; • curage et reprofilage des fossés ; • dérasement des accotements ; • réalisation de saignées superficielles(1) ; • étanchéification et remise en état des cunettes ; • vérification de l'état des exutoires, des regards de visite ; • curage des canalisations ; • modification du profil en long (de la chaussée ou des systèmes de drainage existant) ou du profil en travers ;
Environnement hydrogéologique défavorable (h)	Interception des arrivées d'eau, rabattement de la nappe sous le niveau de la PST, création ou entretien des exutoires. Selon la complexité des cas, une étude hydrogéologique* peut être nécessaire pour dimensionner les ouvrages et définir leurs caractéristiques.	• captage des arrivées d'eau en talus par des éperons ou des masques drainants ; • rabattement du niveau de la nappe (drain subhorizontal, tranchée ou écran drainant, pompage) ; • interception des alimentations en eau superficielle (fossé profond, tranchée ou écran drainant) ;
Drainage de la chaussée (d)	Remise en état ou réfection du réseau de drainage	• curage des canalisations ; • vérification et remise en état des drains, des exutoires, des regards de visite ;
Sensibilité des sols support (s)	Protection des sols supports sensibles à l'eau d'éventuelles infiltrations. L'amélioration de l'état hydrique des sols lorsque ceux-ci s'y prêtent (*cf.* tableau n° 14 annexe 2) est un objectif difficile et demandant un délai parfois important. Dans certains cas (sols très défavorables) le drainage n'apportera pas d'amélioration.	• interception des alimentations en eau superficielles ou des infiltrations d'eau par les accotements (tranchée ou écran drainant) ; • réfection de chaussées et/ou substitution des sols ;
Sensibilité des matériaux de chaussée (m)	Évacuation des eaux internes, protection des couches sous-jacentes par entretien et/ou réfection de la couche de roulement	• réalisation de drains de rive de chaussée ; • imperméabilisation de la surface et des fissures, reprofilage, programmation de campagne d'entretien.

Tableau n° 7 : solutions et dispositifs en fonction des exigences de drainage

(1) dans le respect des règles de sécurité



4 - Caractéristiques des dispositifs de drainage et des matériaux utilisés dans ces dispositifs

4.1 - Ouvrages et dispositifs de drainage

L'objet de ce chapitre est d'abord de décrire les dispositifs de drainage les plus courants, avec leurs principales caractéristiques. Cette description doit permettre au projeteur de s'assurer que la méthode de drainage qu'il envisage est bien adaptée et l'aider à définir les spécifications correspondantes.

La deuxième partie est consacrée aux prescriptions relatives aux matériaux utilisés dans ces ouvrages.

Les dispositifs de drainage décrits dans ce chapitre sont les suivants :

- Fossés profonds ;
- Tranchées drainantes ;
- Saignées drainantes (et épis drainants) ;
- Écrans drainants de rives de chaussée (EDRC) ;
- Couches drainantes ;
- Puits (drainage vertical) ;

et, bien qu'il ne s'agisse pas réellement d'ouvrages de drainage de plate-forme routière, les dispositifs de stabilisation de talus (masques, éperons).



Photo n° 7 : réalisation mécanisée de la tranchée (photo CETE Nord-Picardie)

4.1.1 - Fossés profonds

Objectif

Ce type de fossé, de profondeur supérieure à 50 cm, remplit essentiellement deux fonctions : il recueille les eaux de ruissellement et permet le rabattement de la nappe sous certaines conditions.

Il est très utilisé en phase provisoire, pendant les terrassements. Dans ce dernier cas, il peut parfois faciliter les opérations en diminuant les teneurs en eau des sols à extraire (réutilisation plus aisée et traficabilité améliorée), *cf.* annexe 2.

La sensibilité du milieu récepteur pourra parfois interdire ou limiter l'utilisation de cette technique où les eaux de ruissellement et de drainage interne sont mêlées.

Schémas type

En ouvrage définitif : (*cf.* schéma n°23)

Pour le drainage des couches de chaussées et du sol support, l'efficacité d'un fossé profond est tributaire de son positionnement qui doit être le plus proche possible de la chaussée (distance de la rive de la chaussée de 1 à 2 m) en association avec un accotement en matériau drainant.

Pour le réseau routier national et compte tenu des contraintes de sécurité routière, il n'est pratiquement plus possible d'utiliser le fossé profond en tant qu'ouvrage de drainage définitif des eaux internes de la chaussée. Les règles de sécurité imposent le respect d'une zone de sécurité d'un minimum de 7 mètres pour les routes neuves multifonctionnelles et 4 mètres pour celles existantes. Même en cas de mise en place de glissières de sécurité, une zone de récupération d'une largeur de 2 mètres comprise entre le bord de la voie de circulation et le droit de la glissière doit être respectée [18] [19] et [20].

En conséquence, dans le meilleur des cas l'axe du fossé profond se situera à plus de 4 mètres de la chaussée, ce qui le rend du fait de son éloignement quasiment inefficace dans son rôle d'ouvrage de drainage. Il est donc préférable de remplacer le fossé profond par un système de drainage enterré (tranchée drainante).

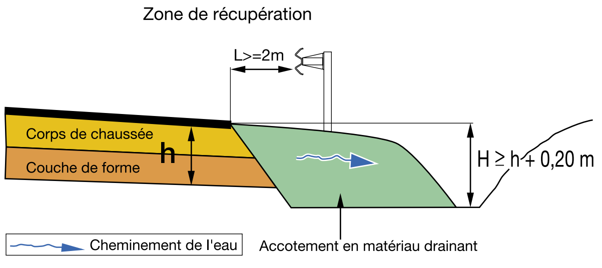


Schéma n° 23 : fossé longitudinal profond

En ouvrage provisoire pendant les terrassement : (*cf.* schéma n°24)

Une variante possible consiste à réaliser les déblais par demi plate-forme. On l'utilise en pied de talus de remblai en terrain naturel.

La pente longitudinale du fossé doit être comprise entre 0,5 % et 2,5 % (attention aux problèmes de stagnation ou de ravinement).

Le fil d'eau sera situé à 0,20 m au moins en dessous de la couche de forme en rive ou 1m au-dessous de l'arase (pour la phase terrassement).

Plus le fossé sera profond, plus il sera efficace

Mode d'exécution

La plupart du temps, il est réalisé à la pelle mécanique. Les pentes latérales sont parfois trop raides : il faut contrôler la stabilité de la pente du talus du fossé (condition évidente de son efficacité) ; celle-ci ne doit pas excéder celle que l'on donne à ce matériau en talus de déblai.

Dans le cas où les sols sont sensibles à l'érosion, les talus peuvent être revêtus d'une couche stabilisatrice perméable : enrochements ou matériaux synthétiques à base de géotextiles.

En ouvrage de drainage provisoire de phase terrassement, le fossé profond représente souvent la solution la moins onéreuse et la plus simple à réaliser. Une variante peut consister en la réalisation des déblais par demi plate-forme ce qui permet à une moitié du déblai de bénéficier de conditions d'assainissement plus avantageuses.

Le fossé doit descendre d'au moins 1 mètre sous l'arase prévisionnelle des terrassements pour drainer également la PST. L'évacuation des eaux en fond de fossé se fait soit de manière gravitaire par le fil d'eau, soit par pompage en fond de fossé, lorsque cela ne peut être évité.

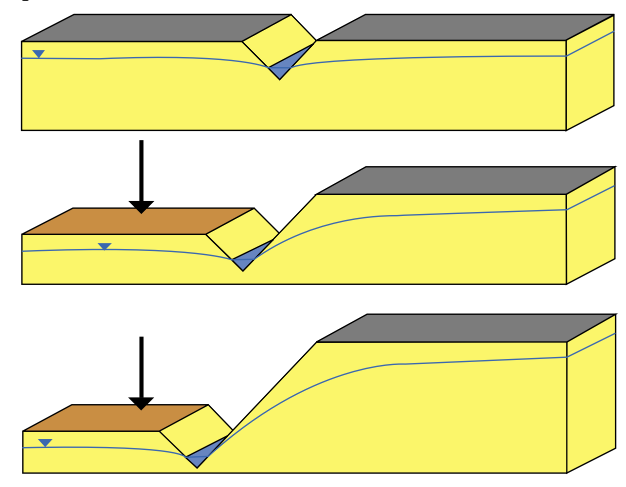


Schéma n° 24 : évolution du profil à l'approfondissement des terrassements (ouvrage provisoire)

Pérennité et entretien

Se reporter au guide de « l'entretien courant de l'assainissement routier » [10].

Dans la mesure où le respect des conditions d'implantation énoncées précédement est maintenu, le fossé profond remplira pleinement sa fonction. Le contrôle de son fonctionnement et son entretien sont aisés sauf lorsque les pentes du talus du fossé sont trop raides ou lorsque de l'eau stagne au fond et que l'on n'a pas protégé les talus.

L'entretien consiste habituellement à faucher une ou deux fois par an avec possibilité au préalable de ramassage des déchets, à curer et à reconstituer le profil tous les cinq à dix ans.

A l'inverse, il peut jouer un rôle très défavorable et alimenter la chaussée ou la couche de forme en eau si sa profondeur est insuffisante ou si son entretien n'est plus assuré, (lorsque le fossé est obstrué ou que le fil d'eau ne permet plus l'écoulement vers un exutoire).

Éléments nécessaires au dimensionnement

• géométrie du projet (et en particulier les pentes de talus) ;

• prise en compte de la sécurité ;

• nappe phréatique (profondeur, variations saisonnières et annuelles, sens d'écoulement, perméabilité) et tous éléments nécessaires au calcul des débits d'exhaure ;

• nature des sols : le tableau n° 14 de l'annexe 2 indique l'aptitude au drainage des sols en fonction de leur classification.

Points particuliers à examiner :

• stabilité de la pente des talus de déblai ou de fossé. cette évaluation nécessite des éléments de mécanique des sols (angle de frottement et cohésion des sols) et des calculs de stabilité ;

• sensibilité aux ravinements et aux turbulences (cas général des sols sableux A1, B5, B6, D1, D2) *cf.* annexe 2 tableau n° 14 ;

• sensibilité du milieu récepteur dans le cas où les eaux de ruissellement et de drainage interne sont mêlées.

4.1.2 - Tranchées drainantes

Objectif

Les tranchées drainantes ont pour objectif :

• de drainer le sol support ;

• d'abaisser le niveau d'eau sous la plate-forme (gain de portance à court ou long terme, protection vis-à-vis du gel-dégel).

Elles sont essentiellement utilisées lorsque la réalisation du déblai nécessite un rabattement de nappe et c'est là que réside la différence essentielle avec les écrans drainants en rive de chaussée. Dans le cas de déblai important, leur profondeur est variable (maximum actuel 6 mètres en tranchée mécanisée).

Elles peuvent parfois n'être utilisées qu'en phase provisoire, pour les terrassements (même en l'absence d'un exutoire gravitaire, avec utilisation d'un rejet par pompage classique ou par pompe à vide).

Schémas type

En fonction de la profondeur de pose et des objectifs à atteindre, plusieurs schémas type peuvent être proposés:

Tranchées drainantes peu profondes (maximum de l'ordre de 2,5 m). (*cf.* schéma n° 25).

Si le matériau drainant peut être colmaté par le sol environnant, un géotextile doit assurer le rôle de filtre.

Tranchées drainantes profondes (2,5 à 6 m) (*cf.* schéma n° 26).

Ces ouvrages sont surtout utilisés lorsque la réalisation du déblai nécessite un rabattement de nappe et que la hauteur du talus est importante. Dans ce cas, la mise en place d'un géotextile est difficile voire impossible. Seul le drain est alors protégé par un enrobage géotextile.

Ces tranchées drainantes mises en œuvre suffisamment tôt avant le début des travaux permettent d'abaisser le niveau de la nappe et facilitent les terrassements. Elles sont placées de façon à contribuer en phase définitive à la stabilisation du talus de déblai.

Mode d'exécution

Tranchée peu profonde

Elle est réalisée, soit à la pelle mécanique (cas le plus fréquent), soit à la trancheuse mécanique. Sa largeur varie en fonction de l'outil utilisé : de 0,30 à 0,50 m, voire plus (*cf.* photos 8 et 9).

Elle est remplie d'un matériau drainant (dont la perméabilité sera supérieure à celle du matériau encaissant) qui peut être entouré d'un filtre géotextile pour rendre cet ouvrage pérenne.

A sa base, il y a généralement un drain reposant sur le fond de tranchée correctement réglé.

La pose d'un drain sera obligatoire si les matériaux sont susceptibles d'être entraînés en présence d'eau. Dans certains cas, le matériau drainant peut être constitué de béton poreux.

Tranchée profonde

Cette solution alternative à la réalisation de fossés, mobilise moins de terrain (moins d'emprise pour la réalisation, moins de matériaux extraits et donc moins d'évacuation ou de stockage), et autorise des profondeurs supérieures, avec un maximum de l'ordre de 6 mètres lorsque l'on peut utiliser des trancheuses mécanisées[1].

La tranchée a l'avantage de s'insérer discrètement dans le paysage, et peut servir comme ouvrage de drainage définitif des futurs talus ou de la PST en profil rasant.

Elle descendra au moins 1 mètre sous l'arase prévisionnelle des terrassements afin de drainer également la PST. (*cf.* schéma n° 27).

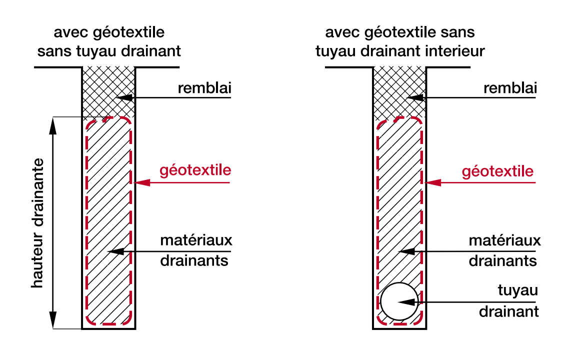


Schéma n° 25 : tranchées drainantes peu profondes

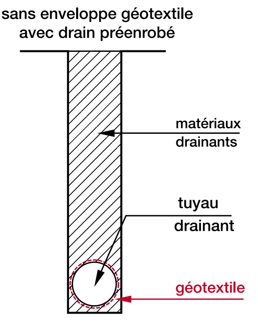


Schéma n° 26 : tranchée drainante profonde

(1) L'utilisation de telles machines de rendement élevé puisqu'elles peuvent atteindre plus de 1 km de tranchée par jour dans de bonnes conditions est cependant limité à des sols fins meubles, sans blocs et où la portance est suffisante.

Le tableau n° 8 ci-après précise selon la profondeur de pose les diverses possibilités de mise en œuvre.

Ces ouvrages ne doivent pas recueillir à la fois les eaux superficielles et les eaux internes :

• la mise en charge du réseau par les eaux superficielles aboutit à l'effet inverse de l'effet recherché ;

• les risques et charges de pollution ne sont pas les mêmes, ce qui complique les filières de traitement avant rejet au milieu naturel.

Pérennité et entretien

La réalisation des tranchées drainantes demande un contrôle des produits et de leur mise en œuvre appropriée. Il est important de prévoir des regards sur drain :

• de dimension intérieure suffisante (conseillé 0,70 x 0,40 mètre) pour faciliter l'introduction de matériels d'hydrocurage ;

• espacés au maximum tous les 100 mètres (idéal 70 à 80 mètres).

Dans le cas où les tranchées drainantes sont mises en place avant les terrassements, il est impératif de s'assurer de leur état et de leur bon fonctionnement à l'issue des terrassements (absence de ruptures, déboîtement, écrasement, colmatage) ; les réparations lourdes après la pose des chaussées sont très difficiles et onéreuses.

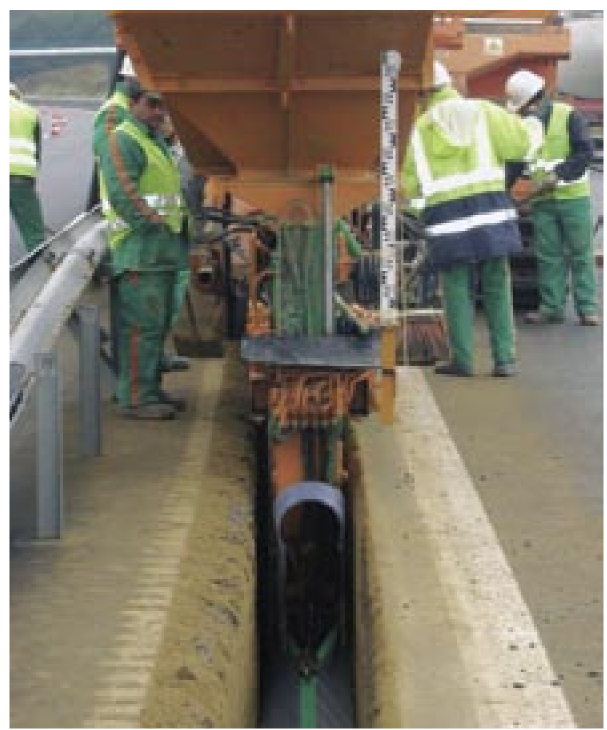
Ces ouvrages exigent aussi un entretien régulier grâce à des plans de récolement dûment établis, avec des visites d'inspection des ouvrages annexes (contrôle des écoulements au niveau des regards de visite et des exutoires) et curage des drains.

Une visite annuelle et un hydrocurage tous les 3 à 5 ans[1] sont conseillés.

Profondeur	Outil		Système drainant		
	Pelle	Trancheuse (1)	Géotextile	Drain nu	Drain enrobé (2)
Faible (< 1 m)	Oui	non	Oui	Oui	non
Moyenne (1 m à environ 2,5 m)	Oui	non	Oui	Oui	non
	non	Oui	Oui	Oui	non
Profonde (2,5 - 6 m)	non	Oui	non	non	Oui

Tableau n° 8 : possibilités de mise en œuvre en fonction de la profondeur de pose

(1) si absence de bloc - (2) par géotextile



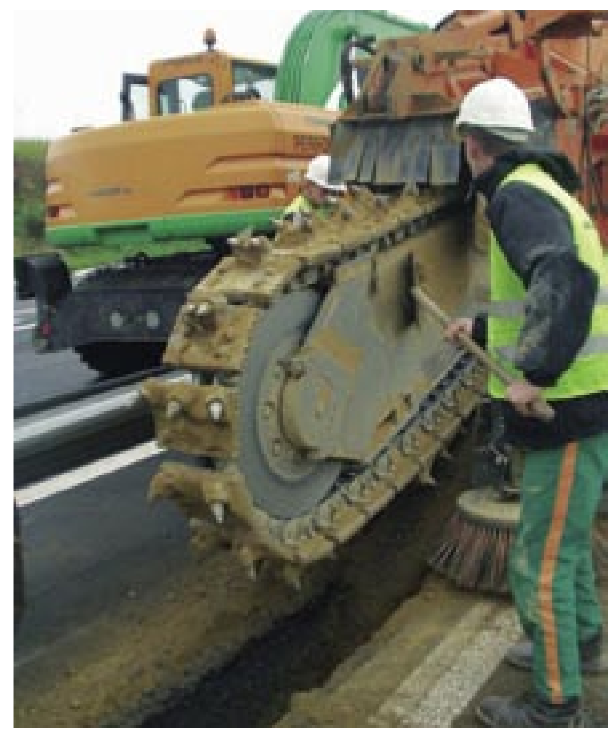


Photo n° 8 et n° 9 : tranchée drainante mise en place à la trancheuse dans une plate- forme autoroutière (photo CETE Nord-Picardie, LRPC Lille)

(1) Valeur moyenne, la fréquence réelle est à adapter en fonction des résultats de la visite annuelle

Éléments nécessaires au dimensionnement

• géométrie du projet ;

• nappe phréatique (profondeur, variations saisonnières et annuelles, sens d'écoulement, perméabilité) et tous éléments nécessaires au calcul des débits d'exhaure* ;

• nature des sols :
  - le tableau n° 14 de l'annexe 2 indique l'aptitude au drainage des sols en fonction de la classification des sols ;
  - la granulométrie (en particulier d85*) permet de déterminer l'ouverture de filtration du géotextile ;

• points particuliers à examiner :
  - éléments de reconnaissance permettant de s'assurer de l'absence de réseaux ou de blocs enterrés et de vérifier la tenue des sols en paroi verticale ;
  - résistance du drain (aux chocs ou à l'ovalisation, selon norme NF P 16-351 [5] ;
  - position des ancrages de supports (glissières, panneau, mur anti-bruit, candélabre).

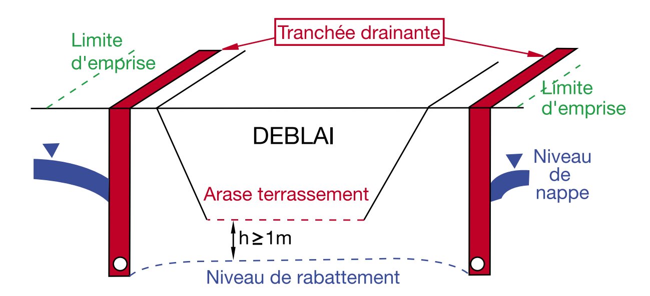


Schéma n° 27 : exemple de tranchée drainante profonde

4.1.3 - Saignées drainantes et épis drainants

Objectif

La saignée drainante est à mettre en place sous accotements dans des zones d'accumulation d'eau (point bas). Son objectif est l'évacuation des eaux qui percolent au travers de la chaussée. Elle doit toujours être associée à une couche drainante ou à une couche de forme drainante dont elle constitue l'exutoire (vers un fossé ou une tranchée drainante).

L'épi drainant est une variante de saignée transversale implantée sous la plate forme. Son rôle est habituellement de récupérer les eaux en points bas ou en points singuliers (par exemple passage d'un déblai à un remblai). Elle peut parfois aussi renforcer la couche drainante (écrêtage de la nappe).

Schémas type

(*cf.* schémas n° 28, 29 et 30)

Ces dispositifs sont peu profonds (habituellement 0,3 à 0,6 m) et leurs largeurs peuvent être variables (0,3 à 1 m) ; ils sont réalisés en matériau drainant, et contiennent ou non un drain perforé permettant d'accélérer l'évacuation de l'eau. Leurs coupes transversales s'apparentent ainsi à celle de la tranchée drainante peu profonde (voir paragraphe précédent). En sol fin colmatant, une enveloppe géotextile est nécessaire.

Mode d'exécution

Peu profonds ils ne posent habituellement pas de problème particulier (réalisés à la pelle mécanique). Il faut cependant veiller à la régularité des pentes (surtout si la longueur est importante, cas des épis drainants).

Pérennité et entretien

Complètement recouverts, ces ouvrages peuvent difficilement faire l'objet d'un entretien régulier sauf s'ils renferment des drains accessibles.

L'essentiel de l'entretien doit se focaliser sur l'exutoire pour éviter toute mise en charge qui entraînerait des remontées d'eau vers la chaussée.

Éléments nécessaires au dimensionnement

- géométrie du projet ;
- nappe phréatique (profondeur, variations saisonnières et annuelles, sens d'écoulement, perméabilité) et tous éléments nécessaires au calcul des débits d'exhaure* ;
- nature des sols :
  - type des sols : le tableau n° 14 de l'annexe 2 indique l'aptitude au drainage des sols en fonction de leur classification ;
  - la granulométrie (en particulier d85*) permet de déterminer l'ouverture de filtration du géotextile.

D'autres éléments de reconnaissance sont utiles pour s'assurer entre autre de la régularité du futur fond de fouille et l'absence d'éléments agressifs vis-à-vis du géotextile

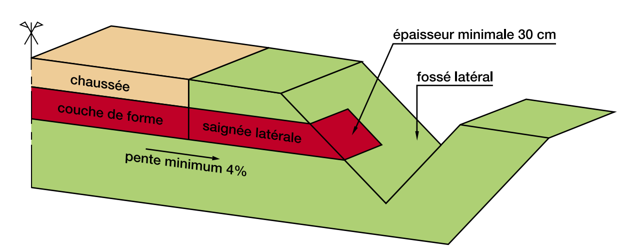


Schéma n° 28 : saignée latérale reliée à la couche de forme

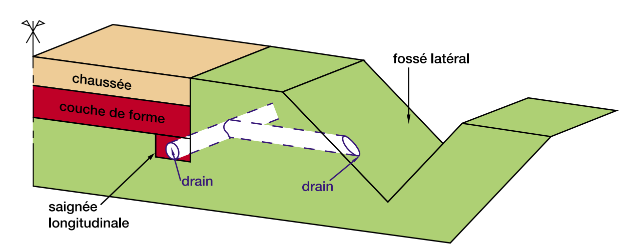


Schéma n° 29 : saignée longituinale avec drain

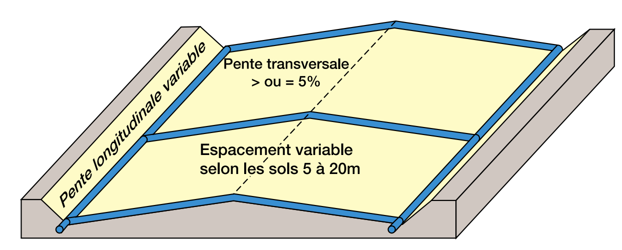


Schéma n° 30 : épis drainants (sous la couche de forme ou la couche drainante

4.1.4 - Écrans drainants de rives de chaussée (EDRC)

Pour plus d'information sur ce dispositif, se reporter au guide EDRC [12].

Objectif

Un sol drainé efficacement devient un sol non-saturé, il conserve une teneur en eau plus ou moins élevée suivant ses caractéristiques de succion et les déplacements de l'eau dans un tel sol sont complexes.

L'objectif principal recherché par l'EDRC est d'améliorer l'état hydrique des matériaux du corps de chaussée et du sol support, sur une épaisseur qui est fonction du type de chaussée, d'évacuer les eaux ayant pénétré dans la chaussée et de limiter les venues d'eau en provenance des accotements. Contrairement à la tranchée drainante, l'EDRC ne peut être posé à de grandes profondeurs (1,5 m maximum) et ne doit pas être utilisé pour rabattre une nappe.

Si le but habituel est d'améliorer la portance générale de la chaussée, l'utilisation de l'EDRC peut être également recommandée pour lutter contre la dessiccation* et pour obtenir une meilleure protection vis-à-vis du gel-dégel.

Schémas type

L'EDRC est un produit soit manufacturé et mis en œuvre sur site avec des engins spécifiques, soit construit en place. Il est essentiellement constitué par un filtre en géotextile, enveloppant une âme drainante avec éventuellement un dispositif collecteur en partie inférieure (*cf.* photo 10). Les épaisseurs d'un écran drainant manufacturé sont très inférieures à celles d'un écran drainant construit en place (entre 2 et 4 cm pour le premier contre 15 à 25 cm pour le deuxième).

Selon qu'il s'agit d'une route neuve ou ancienne, d'une chaussée souple ou d'une chaussée rigide, les fonctions à assurer sont différentes.

L'EDRC est généralement positionné en limite de l'accotement et de la structure de la route (*cf.* schémas n° 31 et 32). Il peut être implanté :

• latéralement en pied de talus de déblai ;

• latéralement sous les bords extrêmes des couches de forme ou de fondation pour les chaussées souples ;

Photo n° 10 : exemple d'écran drainant manufacturé (photo CETE Nord-Picardie, LRPC Lille)

• dans l'axe d'un terre-plein central ;

• en rive de chaussée au contact de la structure de chaussée en structure semi-rigide ou éventuellement rigide, lorsque le matériau constituant l'accotement est moins perméable que celui de la chaussée.

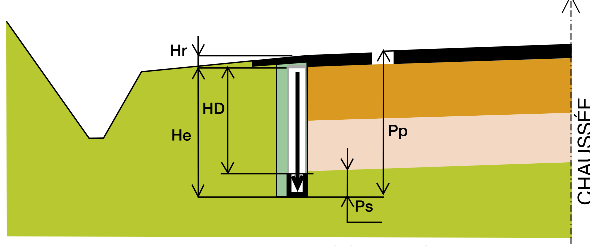
L'EDRC peut, selon le cas, avoir une profondeur de pose plus ou moins grande selon que l'on s'intéresse uniquement au corps de chaussée ou à son sol support :

• en drainage de chaussée souple, l'amélioration de l'état hydrique est recherchée sur toute la hauteur du corps de chaussée et sur au moins les 0,30 m supérieurs du sol support ;

• dans le cas d'une chaussée rigide et semi-rigide la profondeur du dispositif sera limitée au corps de chaussée avec pour rôle essentiel l'évacuation des eaux d'infiltration au niveau des interfaces, des fissures et/ou des joints non imperméabilisés ;

• pour assurer l'évacuation des sur-pressions interstitielles lors du dégel, la profondeur de pose devra être supérieure à la profondeur de gel correspondant à l'indice de gel d'alerte suivant le type de chaussée considéré ;

• pour le drainage de la PST, la profondeur de pose peut être limitée à 50 cm sous l'arase lorsque l'objectif est de protéger préventivement contre les infiltrations en eau et d'améliorer les états hydriques des sols.



Hr : hauteur de recouvrement de l'EDRC (> 0,06 m),
He : hauteur de l'EDRC,
HD : hauteur drainante,
Pp : profondeur de pose,
Ps : profondeur sous le corps de chaussée.

L'EDRC comporte un système d'évacuation des eaux infiltrées.
Il est plaqué contre le bord de la chaussée dans une tranchée étroite dont la partie supérieure est étanchée après remblaiement.
Le fossé latéral est réduit à un rôle de cunette pour l'élimination des eaux de ruissellement.

Schéma n° 31 : profil en travers type d'une chaussée équipée d'un EDRC situé en limite de l'accotement et de la structure de chaussée

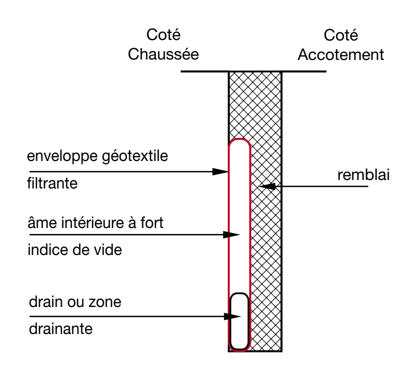


Schéma n° 32 : mise en place d'un EDRC en limite de chaussée

Mode d'exécution

La mise en œuvre d'un EDRC peut se faire selon deux types de poses, soit manuelle après ouverture de la tranchée, soit mécanisée (conseillée).

Il est généralement mis en place dans une tranchée étroite avec une profondeur de pose variant généralement de 30 cm à 1 mètre.

La largeur de la fouille est fonction de la pelle mécanique ou de la trancheuse utilisée (30 à 50 cm). L'espace est ensuite remblayé par le matériau extrait compacté.

Pour une meilleure régularité de la pente, il est conseillé d'utiliser un laser pour le réglage. En cas de pose manuelle, le placage de l'EDRC sur la paroi verticale côté chaussée doit être maintenu pendant le remblaiement. En pose mécanisée, la mise en place de l'EDRC est automatique grâce au caisson de pose qui le plaque contre la paroi côté chaussée.

Le remblayage s'effectue avec le matériau du site. Toutefois, il convient autant que possible d'évacuer les blocs plus gros (maxi 100 mm).

Lorsque c'est possible, il faut procéder au remblayage partiel de la tranchée, alternant avec un compactage conformément aux prescriptions du Guide « Remblayage des Tranchées » [11].

Pérennité et entretien

La réalisation des EDRC demande un contrôle des produits et de leur mise en œuvre approprié (le problème du compactage de la tranchée est à examiner soigneusement). Les tampons de regard de drain doivent résister aux charges roulantes et avoir une dimension intérieure suffisante (conseillé 0,70 x 0,40 m) pour faciliter l'introduction de matériels d'hydrocurage.

Ils exigent aussi un entretien régulier grâce à des plans de récolement dûment établis, avec des visites d'inspection des ouvrages annexes (contrôle des écoulements au niveau des regards de visite et des exutoires) et curage des drains. Les EDRC en pose automatisée ont cependant l'avantage d'une garantie de qualité plus particulièrement pour l'exécution en tranchée de faible pente.

Une visite annuelle et un hydrocurage tous les 3 à 5 ans sont conseillés[1].

Éléments nécessaires au dimensionnement

Sur le plan technique, le choix d'un EDRC est fonction des critères suivants :

• géométriques : la hauteur de l'EDRC (He) varie en fonction des caractéristiques de la chaussée (nature, épaisseur, position) et du type de problème à résoudre (drainage, gel/dégel, dessiccation) ;

• hydrauliques : la capacité d'évacuation longitudinale nécessaire dépend essentiellement des caractéristiques de transmissivité de l'EDRC et de la perméabilité des terrains encaissants ;

• les contraintes de pose prévisibles : obstacles ou réseaux enterrés dans le cas de chaussées anciennes, tenue de la tranchée (nature des matériaux), la nature et la granulométrie des sols.

(1) valeur moyenne, la fréquence réelle est à adapter en fonction des résultats de la visite annuelle

4.1.5 - Couches drainantes

Objectifs

La couche drainante est constituée d'un matériau granulaire très perméable pour intercepter un courant d'eau ascendant ou descendant. On la trouvera ainsi :

• intercalée entre chaussée et sol support ; elle récupère les éventuelles venues d'eau au travers de la chaussée et surtout les arrivées d'eau en provenance du sol support, par exemple :

- sous une structure de chaussée en béton, pour assurer le drainage vertical des eaux d'infiltrations ;

- sur passage déblai-remblai pour évacuer les venues d'eau de la plate-forme du déblai et empêcher leur progression vers le remblai (substitution ou purge de la zone de transition déblai-remblai) ;

- sous une chaussée en déblai ou en profil rasant, lorsque la nappe (ou toute autre arrivée d'eau apparaissant sous la plate-forme) est susceptible de remonter au niveau de la structure (selon les terminologies, on pourra parler soit d'une substitution de la partie supérieure des terrassements soit d'une couche de forme en matériau granulaire, dont le dimensionnement sera réalisé spécifiquement) ;

- en zones plates ou inondables, comme couches s'opposant aux remontées d'eau capillaires (base de remblai en matériau drainant) ;

- sous un remblai situé en zone compressible ou humide (base drainante) ;

- sous la chaussée et le remblai en profil mixte ;

• intercalée entre une couche imperméable (radier, géomembrane) et le sol support. Dans ce cas, l'objectif est l'interception des venues d'eau issues du sol support et la diminution des sous pressions.

Remarque importante : *bien que ce cas sorte du contexte du guide, il faut rappeler que la couche drainante peut également intercepter l'air occlus ou les gaz de fermentation sous géomembrane.*
Ce dispositif est impératif lorsque les sols concernés contiennent de la matière organique fermentescible (sols superficiels et niveaux organiques tourbeux ou vaseux) ou lorsque la nappe est proche.

Schémas type

(*cf.* schémas n° 33 et 34)

Mode d'exécution

Constituées de matériaux drainants granulaires, les couches drainantes sont mises en place par engins de terrassement classiques à lame. La mise en place doit s'effectuer sur un sol suffisamment portant et bien réglé pour éviter les flaques et ornières (sur sol peu portant le réglage est effectué en rétro alors que le matériau drainant est poussé à l'avancement en une seule couche, suffisamment épaisse pour éviter la déformation sous le poids des engins).

Pour la réalisation des couches drainantes qui peuvent être assimilées à des couches de formes particulières, on appliquera les spécifications du guide sur la « Réalisation des remblais et couches de forme » [9].

L'épaisseur est fonction des débits à collecter (des drains peuvent y être insérés en cas de débits importants) mais surtout du rôle transitoire que joue cette couche lors de la phase terrassement (piste) ou de son intégration dans la couche de forme qu'elle peut remplacer partiellement ou totalement. Lorsqu'on est en présence de sols fins peu perméables, l'épaisseur nécessaire pour évacuer les débits pourrait être réduite (< 0,10 m) mais les conditions de mise en œuvre (portance insuffisante, déformabilité) imposent souvent une épaisseur > 0,40 m.

La mise en œuvre d'un géotextile à la base est nécessaire si le pourcentage de fines est > 5 %.

Une variante géosynthétique peut toutefois être envisagée :

• si les débits sont limités ;

• si le rôle mécanique de cette couche est réduit (portance du sol support suffisante pour supporter le trafic chantier) ;

• et si les tassements différentiels du sol support ne dépassent pas quelques centimètres.

Il s'agit alors de géocomposites* pouvant comporter une âme drainante ou des mini-drains.

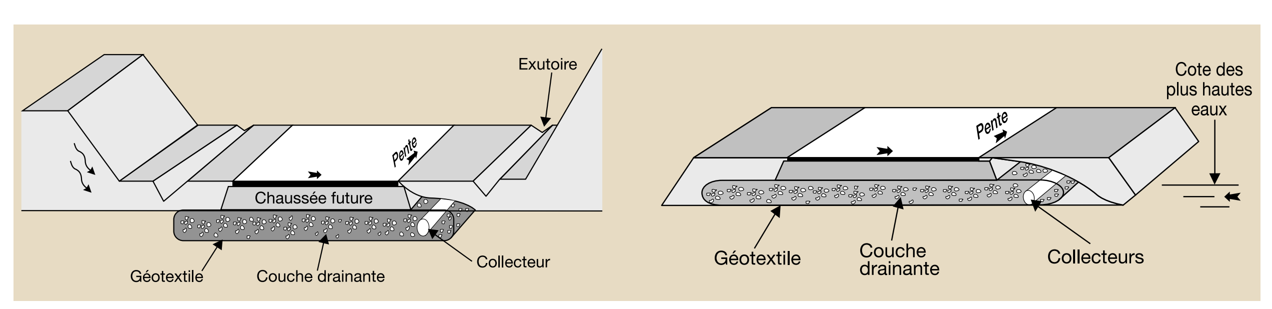


Schéma n° 33 : couche drainante en déblai

Schéma n° 34 : couche drainante en remblai

Pérennité et entretien

Recouverte, la couche drainante n'est pas visitable et ne permet pas d'entretien. Il est donc impératif de la dimensionner avec soin en s'assurant d'une bonne sécurité (par exemple en prenant en compte un coefficient de sécurité au moins égal à 2 sur les débits calculés).

Les exutoires et collecteurs d'exhaure doivent être mis en place et entretenus comme dans les dispositifs précédents (regard visitable tous les 70-80 m de dimensions suffisantes, visite annuelle et hydrocurage tous les 3 à 5 ans)[1].

Éléments nécessaires au dimensionnement

• Géométrie du projet.

• Nappe phréatique (charge hydraulique et variations de charge, perméabilité) et tous éléments nécessaires au calcul des débits d'exhaure*.

• Nature des sols :
- le tableau n° 14 de l'annexe 2 indique l'aptitude au drainage (sols pouvant être drainés et sols drainants utilisables en couche drainante) en fonction de la classification des sols ;
- la granulométrie (en particulier d 85) permet de déterminer l'ouverture de filtration du géotextile ;
- d'autres éléments de reconnaissance sont utiles pour par exemple s'assurer de la régularité du futur fond de fouille et l'absence d'éléments nocifs vis-à-vis du géotextile ;
- la portance prévisible à la mise en place est également à prendre en compte.

(1) valeur moyenne, la fréquence réelle est à adapter en fonction des résultats de la visite annuelle

4.1.6 - Puits (drainage vertical)

Objectif

Les puits assurent ponctuellement l'évacuation verticale des eaux par relèvement jusqu'à un exutoire en surface. Ils sont le plus souvent utilisés de manière temporaire, au moment des terrassements. (*cf.* schéma n° 35).

La zone où le niveau de la nappe est abaissé (zone d'influence du rabattement), varie en fonction de la perméabilité des sols.

Ainsi, pour qu'une ligne de puits joue un rôle de barrière, la distance entre les puits pourra demeurer assez lâche (20-30 m) dans les sols très perméables (perméabilité > 10^{-5} m/s), mais devra être très resserrée (jusqu'à moins de 1,5 m) dans les sols peu perméables (< 10^{-6} m/s).

Dans le premier cas, on utilisera de préférence des puits classiques équipés de pompes immergées centrifuges et la hauteur de relèvement ne sera pas limitée (sauf par la puissance des pompes) ; dans le deuxième cas on utilise habituellement des puits étroits (diamètre < 10 cm) raccordés en surface à une pompe à vide. La hauteur de relèvement est alors limitée à 6-7 m (*cf.* schéma n° 36).

A noter que certains dispositifs de type puits mais sans pompe peuvent avoir pour objectif de mettre en relation deux aquifères* différents :

• soit pour effectuer un rabattement et injecter l'eau de l'aquifère supérieur vers l'aquifère profond (puits d'injection, *cf.* schéma n° 37) ;

• soit pour diminuer la pression de l'eau dans l'aquifère inférieur en permettant l'expansion vers l'aquifère supérieur (puits de décharge, *cf.* schéma n° 37) ;

Compte tenu des problèmes de mise en œuvre que ces techniques posent (colmatage, entretien, pollution etc.), leur utilisation doit rester exceptionnelle et n'est pas traitée ici.

L'utilisation des puits de préférence à la tranchée drainante profonde peut s'imposer dans des contextes particuliers tels que :

• débits potentiels d'exhaure* très élevés (ce qui correspond à une zone d'influence du rabattement très importante, souvent supérieure à 500 m) ;

• profondeur de rabattement à moduler ponctuellement pour des problèmes d'environnement (par exemple pour limiter les tassements sous constructions proches) ;

• profondeur de rabattement importante supérieure à la profondeur maximale des tranchées mécanisées (environ 6 m)[1] (*cf.* § 4.1.2) ;

• absence d'exutoire gravitaire à la cote de rabattement.

Schémas type

(*cf.* schéma n° 36).

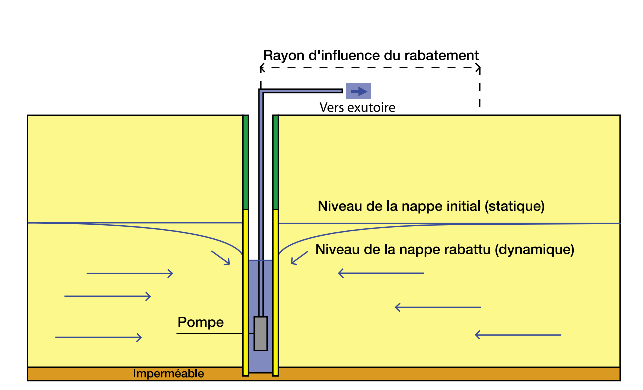
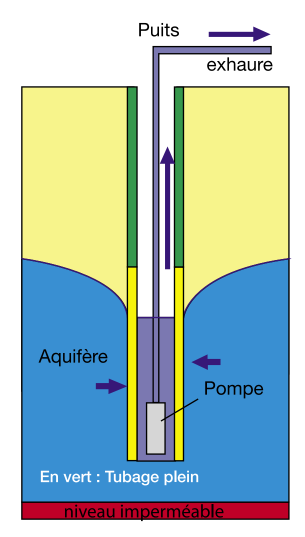


Schéma n° 35 : schéma de principe d'un drainage vertical par puits



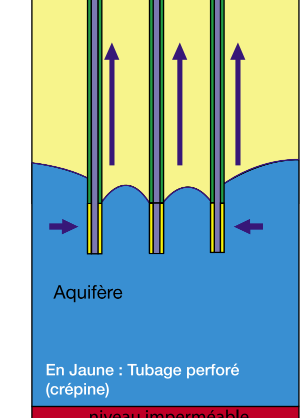


Schéma n° 36 : méthodes de drainage vertical

(1) Dans certains cas particuliers on peut utiliser des panneaux drainants (forage à la benne ou la haveuse) dont la profondeur peut-être largement supèrieure aux 6 m des tranchées mécanisées actuelles.

Mode d'exécution

Le mode d'exécution de ces ouvrages demande un savoir-faire et un matériel spécifique qui doit être adapté à chaque cas particulier, par exemple :

• forage du trou par lançage, fonçage, battage, rotation avec ou sans fluide de forage (eau, boue, air) ;

• tubage métal ou PVC, crépine rapporté (manufacturée) ou non, type et densité de perforation, filtre en matériau naturel (sable ou gravier) ou manufacturé (filtre sable+résine, géotextile) ;

• types des pompes et puissance ;

• écartement des puits (et nombre de lignes en cas d'ouvrage linéaire) à déterminer ;

• mise en place d'un collecteur provisoire jusqu'à l'exutoire.

Pérennité et entretien

Sauf cas tout à fait particulier, les ouvrages de rabattement ne sont utilisés que de manière provisoire, pendant les terrassements. Les problèmes de pérennité et d'entretien ne se posent pas.

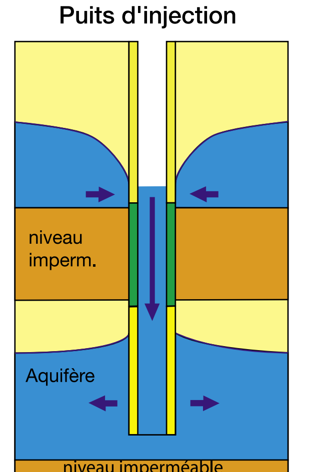
Éléments nécessaires au dimensionnement

• géométrie du projet ;

• caractéristiques hydrodynamiques détaillées (géométrie des aquifères, discontinuités, perméabilités verticales et horizontales, transmissivité, porosité de drainage, sens d'écoulement, variations piézométriques) ;

• nature des sols :
  - le tableau n° 14 de l'annexe 2 indique l'aptitude au drainage des sols en fonction de la classification des sols ;
  - la granulométrie (en particulier d85*) permet de déterminer l'ouverture de filtration du géotextile ;

• éléments particuliers à ces techniques :
  - sensibilité des ouvrages proches aux tassements différentiels (fréquents dans ce type d'opération) et aux déficits d'alimentation (plans d'eau et cours d'eau proches en équilibre avec le niveau de la nappe).



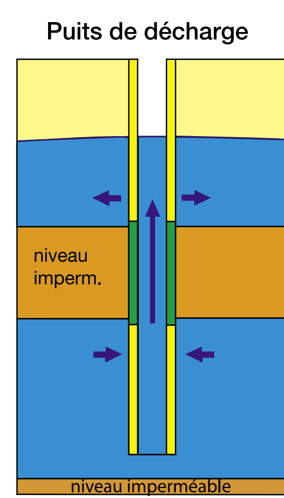


Schéma n° 37 : dispositifs de type puits

4.1.7 - Dispositifs de stabilisation de talus (masques et éperons)

Objectif

Leur objectif est d'intercepter l'eau dans les talus (et ils contribuent ainsi à l'assainissement de la plate-forme) mais aussi d'agir comme massif de retenue afin d'accroître la stabilité générale. Ils sont donc utilisés dans les déblais descendant (même temporairement) sous le niveau de la nappe phréatique. La mise au point du système et surtout de sa géométrie imposent des calculs spécifiques où les caractéristiques mécaniques des sols encaissants prédominent.

Schémas type

Le masque (*cf.* schéma n° 38) substitue au sol en place un massif de sol drainant et frottant sur une grande longueur (dans toute la zone potentiellement instable). Excepté dans le cas où le matériau drainant peut jouer le rôle de filtre vis-à-vis du sol encaissant (peu fréquent), le massif repose sur un géotextile filtre et renferme en pied un tuyau drainant destiné à faciliter et accélérer l'évacuation des eaux collectées. Ce tuyau drainant doit impérativement être obstrué en amont.

L'éperon (*cf.* schéma n° 39) repose sur un principe analogue, la substitution est dans ce cas perpendiculaire à l'axe du déblai.

Le système « éperons » est préférable au système « masque » lorsque la stabilité du talus à court terme (lors de la mise en place du système drainant) est vraiment critique ou lorsque les venues d'eau sont ponctuelles. D'autres paramètres, tels l'importance des débits, l'esthétique des talus, les problèmes d'engazonnement, les volumes de matériaux à déplacer, sont également à prendre en compte mais peuvent varier d'un site à l'autre.

Des techniques particulières permettent de raidir la pente propre du masque (mélange de sable et de fils synthétiques, clouages par pieux ou cornières)

Mode d'exécution

Par principe destinés à stabiliser des talus peu stables, ces ouvrages sont souvent réalisés dans des conditions de chantier difficiles (stabilité critique, venues d'eau, sols peu portants). Dans le cas des masques, l'avancement par plots de longueur limitée permet d'assurer une meilleure stabilité pendant la durée du chantier.

Les terrassements et la pose du massif sont ainsi réalisés le plus souvent à la pelle mécanique à petite cadence.

Compte tenu des conditions souvent difficiles, il ne faut pas se focaliser sur la régularité des parois et du fond de la zone d'extraction, qui peuvent être et demeurer irréguliers (surtout, ne pas reprofiler à l'aide des matériaux extraits...). La régularité de la pente du tuyau drainant de collecte et d'évacuation est par contre impérative ; pour des problèmes de précision, éviter d'adopter des pentes inférieures à 5 cm par mètre pour les éperons, 2 cm pour les masques.

La végétalisation, si elle s'impose, peut s'effectuer en intercalant un filtre géotextile et à l'aide d'un géosynthétique alvéolaire* ou d'une géogrille*.

A noter que, dans certains cas particuliers, un géocomposite* peut être utilisé à la place ou en complément du matériau drainant (*cf.* schéma n° 40).

Pérennité et entretien

La masse drainante, enfouie, ne peut faire l'objet d'un quelconque entretien. Le drain d'évacuation doit pouvoir être accessible et comporter des regards de visite tous les 25 à 50 m (selon le degré de sécurité voulu) pour les masques, à chaque piquage sur le collecteur longitudinal pour les éperons.

Une visite complète (y compris par vidéo dans les drains) est souhaitable à l'issue du chantier et un plan de récolement précis est indispensable.

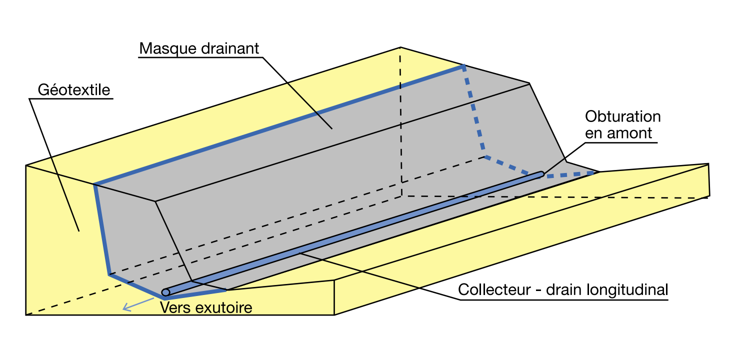


Schéma n° 38 : masque drainant

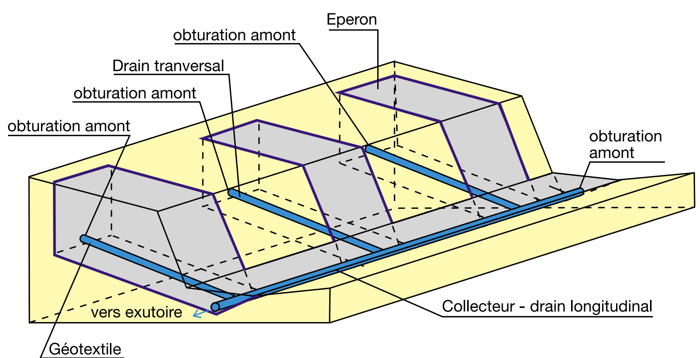


Schéma n° 39 : éperons drainants

En ce qui concerne l'entretien, il faut prévoir un relevé visuel (appréciation des débits et surtout du colmatage) de l'état des orifices des drains à chaque regard et selon un rythme plus soutenu en début de vie de l'ouvrage ; par exemple visite à 1 mois - 3 mois - 6 mois - 1 an.

Un hydrocurage est conseillé au moins tous les 3 à 5 ans (plus souvent si le suivi précédent a montré une tendance à un encroûtement rapide).

Éléments nécessaires au dimensionnement

• géométrie du projet (en particulier la pente du terrain naturel en travers) ;

• caractéristiques hydrodynamiques des sols (géométrie des aquifères, discontinuités, perméabilités, sens d'écoulement, variations piézométriques) ;

• nature des sols : le tableau n° 14 de l'annexe 2 indique l'aptitude au drainage des sols en fonction de la classification des sols ;

• éléments particuliers à ces techniques :
- blocométrie* et granulométrie (en particulier d85* des sols) pour l'appréciation de l'état du fond de fouille et de l'ouverture de filtration du géotextile ;
- caractéristiques géomécaniques détaillées (cohésion C et angle de frottement interne des sols encaissants).

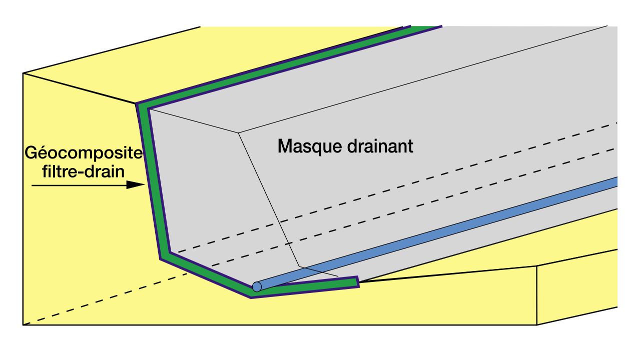


Schéma n° 40 : géocomposite utilisé à la place ou en complément du matériau drainant.

4.2 - Prescriptions relatives aux matériaux

4.2.1 - Matériaux drainants et filtrants

Le drainage consiste à laisser passer l'eau le plus rapidement possible d'un milieu « aquifère » à un ouvrage drainant et au-delà vers un exutoire. La filtration tempère ce passage en retenant les éléments qui constituent le milieu aquifère.

Pouvoir filtrant

Le pouvoir filtrant d'un matériau vis-à-vis d'un autre matériau s'apprécie au travers des caractéristiques granulométriques et de règles qui s'appuient sur ces caractéristiques.

Dans la plupart des cas, l'application de ces règles est délicate car elles sont établies pour des sols homogènes et font appel à des matériaux souvent très élaborés et coûteux. Il est donc plus fréquent de confier ce rôle à un géotextile. Le matériau d'apport n'a plus dans ces conditions qu'à évacuer l'eau rapidement et a donc un rôle drainant seul.

Pour des ouvrages « rustiques » ne comportant pas de géotextile et donc à la fois filtrants et drainants (en phase terrassement par exemple ou lorsque la mise en œuvre d'un géotextile n'est pas possible), on peut utiliser une grave routière de granularité continue[1] (une grave creuse est plus facilement colmatable) 0-30 ou 0-40 mm avec :

- moins de 5% de fines inférieures à 80 µm ;
- un équivalent de sable (ES) supérieur à 50, ou VBS ≤ 0,1 ;
- un passant à 2 mm inférieur à 10 % pour un enrobage de drain en béton poreux, inférieur à 15 % pour un enrobage de tuyau drainant PVC.

(*cf.* schéma n°41)

A noter que, dans le cas des tranchées mécanisées profondes, où il est rarement possible de mettre en place un géotextile enveloppe, le filtre est mis en place directement autour du drain (« chaussette géotextile ») et la grave ne sert qu'au remplissage de la tranchée. La seule exigence concerne la facilité de mise en place et l'auto serrage, on demandera ainsi :

- une grave roulée de préférence à un concassé ;
- une granulométrie continue ;
- une taille de particule limitée (D) à 20 mm (tranchée étroite) ;
- un pourcentage de fines inférieures à 80 µm limité à 5 %.

Pouvoir drainant

C'est la facilité avec laquelle l'eau s'écoulera au sein du matériau, ou plus précisément la réduction des pertes de charge (d'énergie) par frottement. Plus les vides seront importants mieux l'eau s'écoulera, l'idéal étant de réduire les frottements au minimum comme dans les tuyaux. On voit ainsi l'incompatibilité avec le pouvoir filtrant.

A titre indicatif les caractéristiques d'une grave uniquement drainante (située derrière un filtre) pourraient être les suivantes :

- grave creuse (voir plus haut) ;

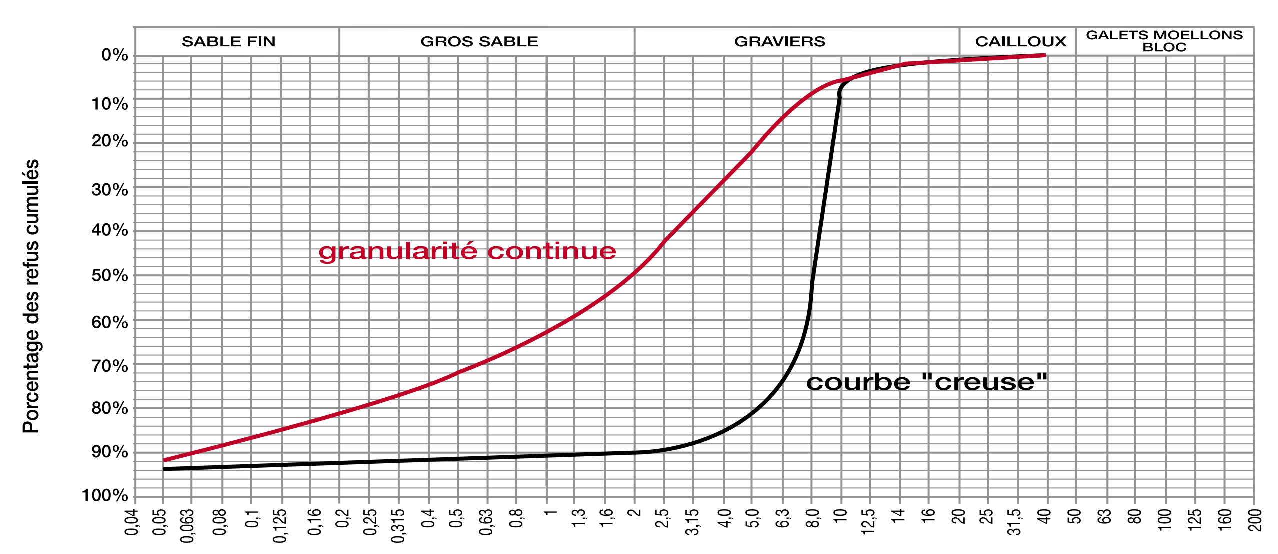


Schéma n° 41 : forme de courbes granulométriques continue ou discontinue

(1) *Chaque classe granulométrique est représentée, la forme de la courbe tend à s'approcher de la diagonale. L'inverse est la granulométrie discontinue ou la courbe est très creuse.*

• ES (équivalent de sable) > 50 ou VBS ≤ 0,1 g de bleu par 100 g de sol ;

• passant à 2 mm < 10 % ;

• un pourcentage de fines inférieures à 80 µm limité à 5 %.

D'autres critères peuvent être également retenus pour prendre en compte les limites liés à l'ouvrage en particulier :

• la mise en place (D largement inférieur à 3 ou 4 fois l'épaisseur de la couche) ;

• les risques d'endommagement pour les filtres textiles (il est préférable de réduire la granulométrie avec des matériaux concassés) ;

• un matériau très propre (sans fine avec un pourcentage de fines < 1 % pour un matériau uniquement drainant.)

Les granulométries les plus couramment utilisées sont inférieures à 30-40 mm.

Le tableau n° 9 propose une classification des matériaux granulaires non traités basée uniquement sur leur aptitude au drainage à partir de trois paramètres :

D : la dimension des plus gros éléments

f : la teneur en fines (passant à 80 m)

d_{10} la dimension des grains correspondant au tamisat de 10 %

Autres critères

Pour les sols :

• la résistance mécanique et surtout la sensibilité à l'attrition* (en première approche, coefficients LA et MDE inférieurs ou égaux à 45) ;

• la résistance au gel (en principe respectée avec les caractéristiques mécaniques) ;

• la résistance vis-à-vis de l'agressivité des eaux du milieu ou des eaux utilisées pour le décolmatage (incompatibilité des granulats calcaires et des milieux acides).

Pour les matériaux élaborés de type GNT (granulats de catégorie C voire D sous réserve) : les valeurs sont reprises dans la norme XPP 18-540 [3].

Remarque relative aux bétons poreux

Cette technique semble peu usitée mais elle peut apporter des avantages :

• dans certains cas de chantier d'accès difficile lorsque le compactage peut poser problème ;

• lorsque les réseaux sont denses et les possibilités de compactage réduites ;

• lorsque la zone drainante doit posséder des résistances mécaniques élevées.

Un béton poreux a une porosité comprise entre 15 et 25 % et aura des critères de résistance en compression à 90 jours voisines de 10 MPa. La nature minéralogique des granulats et le type de liant hydraulique seront choisis en fonction de l'agressivité des eaux locales.

Matériau	f	d10	Perméabilité	Type
	en %	en mm	en m/s	
0/D suivant NF P 98-129 (14 < D < 31,5 mm)	< 5	≥ 0,1	$10^{-6} < K \leq 10^{-5}$	GNT drainante
0/D, (14 < D < 31,5 mm)	≤ 2	≥ 0,8	$\geq 10^{-5}$	matériau très drainant
d/D (D ≤ 40 mm)	≤ 1	≥ 8	$\geq 10^{-1}$	matériau très drainant

Tableau n° 9 : classification des matériaux granulaires non traités

4.2.2 - Géotextiles et produits apparentés

Les géotextiles et produits apparentés permettent d'améliorer le comportement mécanique et hydraulique du sol et leur emploi en technique routière s'est largement développé dans des domaines très diversifiés : le nombre de produits offerts est maintenant très important.

Les principales fonctions sont au nombre de cinq : la séparation, la filtration, le drainage le renforcement et la protection. Selon les fonctions qu'ils doivent assurer, les propriétés requises varient.

Rôle dans les ouvrages de drainage

Dans les ouvrages de drainage, les géotextiles et produits apparentés permettent le remplacement de systèmes drainants granulaires parfois complexes, difficiles à dimensionner et coûteux à mettre en œuvre. Il seront la plupart du temps constitués par une ou plusieurs nappes de fines fibres synthétiques enchevêtrées tissées ou non tissées (thermoliées ou aiguilletées) associées ou non à d'autres géosynthétiques (géoespaceurs*, minidrains, etc.) où les fonctions de drainage et de filtration seront privilégiées. (*cf.* schéma n°42)

Comme pour les matériaux granulaires, la fonction drainage caractérise la capacité du géotextile à collecter et transporter l'eau dans son épaisseur (notion de transmissivité). Cette capacité pourra varier en fonction de l'épaisseur et donc de son comportement lorsqu'il sera comprimé (fluage en compression).

La fonction de filtration s'oppose à l'entraînement des particules de sol qui pourraient migrer sous l' action de forces hydrodynamiques, tout en permettant la libre circulation de l' eau au travers du filtre. Dans le cas du géotextile, il y a fréquemment réorganisation du sol et formation d'une couche filtrante au contact sol-géotextile. Les mécanismes sont complexes et dépendent de caractéristiques fonctionnelles du géotextile (ouverture de filtration caractéristique, perméabilité perpendiculairement au plan, ...). Cette fonction est à privilégier lorsque le géotextile est en contact avec le sol et enveloppe le drain ou le matériau drainant. (*cf.* schéma n° 43)

A ces caractéristiques fonctionnelles il faut ajouter des caractéristiques mécaniques et de durabilité minimales pour éviter l'endommagement du géotextile lors de la mise en œuvre et au cours de la vie de l'ouvrage.

La norme NF EN 13252 [7] définit les caractéristiques requises pour l'utilisation dans les ouvrages de drainage. Le tableau n° 10 suivant en est extrait.

Caractéristiques principales à déterminer

Fonction filtration

Ouverture de filtration caractéristique O_{90}. Elle doit être inférieure au d85 du sol multiplié par un coefficient C variable selon les cas d'utilisation (filtre seul ou filtre-drain), les caractéristiques du sol et les conditions hydrauliques. Ce mode de calcul est explicité dans la norme G38-061 [6].

Perméabilité perpendiculaire au plan : indice de vitesse V_{H50}. La perméabilité du géotextile est spécifiée à partir de la perméabilité du sol avec un facteur correctif variable suivant les cas d'utilisation (type d' ouvrage) et les caractéristiques de fluage en compression du géotextile. Pour des ouvrages courants (non sensibles) la valeur de V_{H50} varie de 0,5 à 30 mm/s.

Résistance à la pénétration de l'eau. Ce paramètre n'apparaît pas dans le tableau n°10. Il exprime l'épaisseur minimale de la lame d'eau nécessaire pour que l'eau commence à pénétrer le géotextile. La valeur habituellement requise est inférieure à 50 mm.

Fonction drainage

Capacité de débit dans le plan (équivalent à la transmissivité). Elle doit correspondre à la transmissivité minimale requise pour évacuer les débits affectés d'un coefficient. Ce coefficient, repris lui aussi dans le norme G38-061 peut varier de 3 à 100.

Caractéristiques mécaniques

Outre l'endommagement à la mise en œuvre, la résistance à la traction, la déformation sous charge maximale, la résistance à la perforation dynamique, d'autres paramètres non repris dans le tableau n° 10 peuvent venir compléter si nécessaire la liste des paramètres requis.

masque drainant
couche drainante par géocomposite
tranchée drainante
couche drainante granulaire
géotextile
TN

Schéma n° 42 : emploi des géotextiles pour les ouvrages de drainage

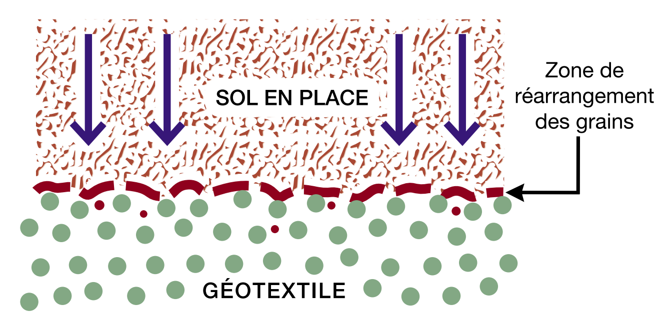


Schéma n° 43 : formation d'un filtre naturel stable en amont du géotextile

La définition de fourchettes de valeurs ne peut s'envisager compte tenu de la variabilité et de la spécificité des cas possibles. D'une manière globale, on retiendra que les valeurs doivent tendre vers un optimum qui peut varier selon les utilisations. Ainsi :

• la souplesse doit être maximale sur les fonds de fouille irréguliers et en particulier dans les tranchées drainantes, elle peut être moindre sur les fonds de fouille réglés et compactés ;

• la résistance à la traction et la déformation sous charge maximale seront choisis en fonction de la déformabilité et de la portance du support avec un allongement de 50 % au moins sur sol meubles ou irréguliers ;

• la résistance au poinçonnement statique, la résistance à la perforation dynamique limitent les risques d'endommagement au contact des aspérités ;

• l'épaisseur ainsi que le fluage en compression peuvent faire varier la transmissivité.

Caractéristiques	Méthode d'essai	Fonction		
		Filtration	Séparation	Renforcement
(1) Résistance à la traction [b)]	EN ISO 10319	H	H	H
(2) Déformation sous charge maximale	EN ISO 10319	A	A	H
(3) Résistance à la traction des coutures et joints	EN ISO 10321	S	S	S
(4) Poinçonnement statique (essai CBR) [a) b)]	EN ISO 12236	S	H	H
(5) Résistance à la perforation dynamique (chute de cône) [a)]	EN 918	H	A	H
(6) Caractéristiques en frottement	prEN ISO 12957-1:1997 et prEN ISO 12957-2:1997	S	S	A
(7) Fluage en traction	EN ISO 13431	--	--	S
(8) Endommagement à la mise en œuvre	ENV ISO 10722-1	A	A	A
(9) Ouverture de filtration caractéristique	EN ISO 12956	H	A	--
(10) Perméabilité perpendiculairement au plan	EN ISO 11058	H	A	A
(11) Durabilité	Conformément à l'annexe B	H	H	H
(11.1) Résistance aux agents climatiques	EN 12224	A	A	A
(11.2) Résistance au vieillissement chimique	ENV 12447, ENV ISO 12960 ou ENV ISO 13438	S	S	S
(11.3) Résistance à la dégradation microbiologique	EN 12225	S	S	S

Pertinence :

H : essentielle pour l'harmonisation.

A : s'applique à toutes les conditions d'utilisation.

S : s'applique à des conditions spécifiques d'utilisation.

"--" : indique que les caractéristiques ne sont pas applicables à la fonction en question.

a) Il convient de considérer avec attention la validité de ces essais dont le principe peut ne pas être applicable à certains types de produits (par exemple les géogrilles).

b) Si les propriétés mécaniques (traction et poinçonnement statique) sont indiquées H cela signifie que le producteur doit fournir les données pour ces deux propriétés. L'emploi de l'une seulement (résistance en traction ou poinçonnement statique) est suffisant dans la spécification.

Tableau n° 10 : caractéristiques requises pour l'utilisation dans les ouvrages de drainage

Éléments nécessaires au choix du géotextile

Selon le système de drainage à réaliser, les données principales à collecter sont les suivantes :

• le type et la géométrie de l'ouvrage (le dimensionnement dépend de la position du géotextile dans l'ouvrage, de sa fonction soit de drainage vertical ou horizontal, soit de filtration) ;

• le débit à drainer et donc les caractéristiques hydrodynamiques des sols ;

• la granulométrie des sols (type de sol à filtrer) ou du matériau dans lequel se produit l'écoulement ;

• le type de granulat utilisé ;

• les contraintes exercées sur le géotextile (hauteur de déversement des matériaux, profondeur de pose, dans le cas d'une couche drainante son épaisseur et la rigidité du sol support, charge hydraulique).

Le marquage CE est précisé dans la norme NF EN 13252 [7]. Il s'agit d' un marquage légal obligatoire pour la libre circulation des produits au sein de la Communauté Européenne.

La certification volontaire ASQUAL est une marque de qualité : elle apporte un « plus » par rapport au marquage CE et garantit les caractéristiques annoncées selon un référentiel précis.

Avertissement *:*
la norme NF G 38 061 est en cours de révision car elle fait référence à des normes françaises obsolètes, remplacées par les normes CEN énumérées dans le tableau n°10 et qui ne sont pas strictement équivalentes. Il convient donc d'être prudent dans son utilisation pour la détermination des caractéristiques des géotextiles notamment l'ouverture de filtration et plus encore sur la perméabilité car il n' y a pas de corrélation possible entre l' ancienne norme française « permittivité » et la norme CEN « perméabilité »



Photo n° 12 : drain souple annelé enrobage géotextile synthétique (photo CETE Nord - Picardie / LRPC)

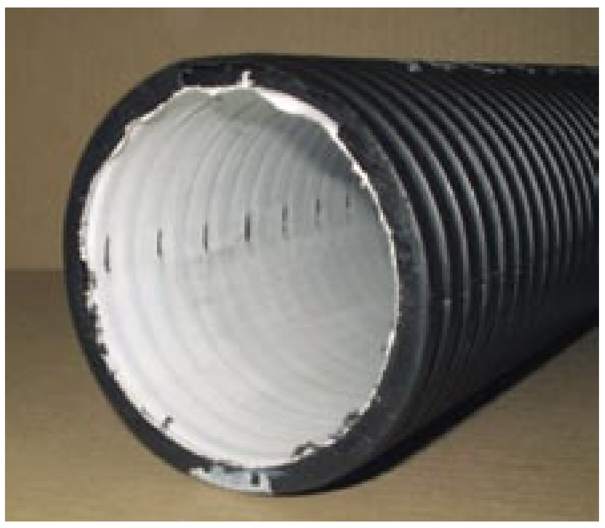


Photo n° 13 : drain rigide annelé à cunette (photo CETE Nord - Picardie / LRPC)



Photo n° 11 : drain souple annelé enrobage végétal (coco) (photo CETE Nord - Picardie / LRPC)



Photo n° 14 : drain « routier » à cunette (photo CETE Nord - Picardie / LRPC)

4.2.3 - Drains ou tuyaux drainants

Rôle et types

Les drains ou tuyaux drainants sont destinés :

• à assurer la collecte de l'eau par leur périphérie ;

• à faciliter son évacuation rapide (fonction drainage au sens propre). Lorsqu'ils ne collectent pas l'eau par leur périphérie, même si l'usage veut qu'on les dénomme parfois « drains », il ne s'agit en fait que de tuyaux simples qui ne font pas l'objet de ce guide.

Ils peuvent se présenter sous diverses formes (rond ou de forme « tunnel », ovoïde ou à fond plat) et matières (la terre cuite, actuellement abandonnée, le grès, le béton poreux ou fibreux et surtout les matières synthétiques, polyéthylène et PVC pour l'essentiel). La matière et les formes déterminent la rigidité des éléments qui se présentent pour l'essentiel sous deux types : les éléments longitudinaux de longueur variable mais limitée à quelques mètres (section ronde ou tunnel, béton ou matières synthétiques) et les couronnes de longueur importante pour les formes souples (section ronde et matériaux synthétiques) (*cf.* photos 11, 12, 13 et 14).

La collecte des eaux sur la périphérie s'effectue soit par pores diffus (béton poreux) soit par des fentes ou des perforations de dimensions variables (bétons de fibre et matières de synthèse). Ces orifices peuvent être répartis sur toute la périphérie ou localisés dans la partie haute seulement (drains à « cunettes »).

On notera enfin que la plupart des drains en matière de synthèse, peu épais, voient leur résistance à l'ovalisation et à l'écrasement renforcée par des cannelures (formes annelées). Ces cannelures permettent la souplesse longitudinale mais augmentent la rugosité interne (diminution des débits). Certains modèles rigides comportent ainsi deux enveloppes, une enveloppe extérieure cannelée et une enveloppe intérieure lisse.

A titre indicatif, les tableaux n° 11 et 12 donnent quelques unes de leurs caractéristiques principales et de leurs domaines d'utilisation préférentiels.

	Drain ou collecteur drainant en béton ou grès	Drain ou collecteur drainant synthétique Rigides ou à cunettes [1]	Drain annelé souple synthétique
Longueur	Variable, 0,5 à 1 m	4 à 6 m	Couronnes
Diamètre	75 à plus de 1000 mm	80 à 630 mm	5 à 200 mm
Perforations	Variable, jusque 13 mm	0,8 à 3,5 mm	Environ 1 mm
Position des perforations	Pourtour ou partie supérieure	Pourtour ou partie supérieure	Pourtour
Inconvénient majeur	Lourd et fragile	Semi-rigide	S'écrase

Tableau n° 11 : caractéristiques principales des drains

	Perforations ou fentes sur	Usage préférentiel	Usage à éviter
Drains souples annelés [2]	Surface totale	Pose mécanisée avec profondeur importante (au moins >1m) [3]	Faible profondeur (risque d'aplatissement)
Drains rigides	Surface totale	Profondeur faible	Sols hétérogènes avec nappes perchées
Drains à cunette	Partie supérieure	Forts débits Sols érosifs (risques d'entraînement des fines)	
Drains préenrobés	Partie inférieure ou surface totale	Sols érosifs (risques d'entraînement des fines)	

Tableau n° 12 : domaines préférentiels

(1) cf. norme NF P 16-351 [5]

(2) En conformité avec le nouveau fascicule 70 titre II, § II 6, « les drains de type agricole (référence à la norme NF U 51.101) peuvent être utilisés sous les espaces non circulés ». Les filtres doivent cependant être dimensionnés comme pour les ouvrages routiers classiques (ouverture de filtration caractéristique O_{90}, cf. § 4.2.2) et non pas selon les pratiques habituelles du drainage agricole qui, avec une ouverture plus largement dimensionnée, favorisent le passage de l'eau au risque de favoriser également le passage d'éléments fins.

(3) Le choix du drain en fonction de la profondeur de pose dépend de la résistance mécanique du matériau et du contexte général de pose : charge roulante éventuelle de surface, largeur de la fouille, matériau de remblai, mode de compactage.

En ce qui concerne les drains routiers, les profondeurs de pose sont définies par la norme NFP 16-351 : sans charge roulante de surface et à partir de 0,8 m de profondeur, on utilisera les drains de la catégorie ND. Dans tous les autres cas, on choisira la catégorie SD.

Pour les drains agricoles, aucune norme ne permet de préciser : on admettra dans ce cas une profondeur minimale de l'ordre du mètre.

Préenrobage

Le préenrobage (avant pose par un filtre fixé sur le drain) est toujours à préconiser car il permet de réduire sensiblement le risque d'entraînement des particules fines du sol et ainsi les risques d'obstruction interne du drain et de désordre en surface (tassements).

Il est à réaliser avec un géotextile convenablement dimensionné (règles du paragraphe précédent, en particulier en ce qui concerne l'ouverture de filtration).

L'emploi de fibres végétales (coco), souvent proposé, est à éviter en raison des risques de putréfaction, en particulier si le drain est posé dans une zone alternativement noyée-dénoyée.

Dimensionnement : Débit- Diamètre - Pentes

Le débit peut être calculé avec les formules classiques intégrant diamètre et pente ; le schéma n° 44 est donné à titre indicatif pour des drains annelés (coefficient de rugosité 45).

Le diamètre est à déterminer en fonction des débits captés, cependant, compte tenu des incertitudes sur les paramètres « sols » (homogénéité, perméabilité etc.), il est indispensable de surdimensionner (au moins par 2). Ce coefficient devra encore être augmenté lorsque le réseau de drainage est mis en place avant ou pendant les terrassements (débits plus élevés et colmatage partiel inévitable).

Il est par ailleurs impératif de prendre toutes précautions pour éviter les obstructions :

• mise en place de grilles ou clapets anti-intrusion pour les animaux ;

• éviter la plantation d'une végétation arborée à proximité ou à l'aplomb du drain.

La pente est un facteur très important.

Plus la pente des drains est faible, plus le diamètre du drain doit être surdimendionné pour tenir compte des zones de rétention et de sédimentation dans le réseau de drainage. A l'inverse, les pentes trop fortes peuvent générer des phénomènes d'érosion et de cavitation entre le sol et le drain. Pour les pentes fortes, il est préférable de diminuer les pentes par des chutes aux regards.

Un drain mal nivelé (ou insuffisamment entretenu) présente des zones de rétention d'eau ayant l'effet inverse du drainage : mieux vaut ne pas drainer que mal drainer.

Pérennité et entretien

Le principal paramètre est la résistance aux différentes sollicitations telles que le compactage ou la circulation de chantier, qui peuvent sérieusement endommager les drains (par écrasement, déformation) ou l'enrobage et donc réduire voire empêcher, et ce dès la mise en œuvre, l'ouvrage de drainage de fonctionner.

Pour les canalisations plastiques, la norme NF P 16 - 351 [5] indique des valeurs minimales de rigidité et résistance aux chocs, mais dans tous les cas présentant des risques d'écrasement (drains encastrés dans une couche drainante par exemple), on recommande des planches de référence pour agréer les produits en fonction de leur comportement à la mise en œuvre ou sous trafic.

A noter que la nouvelle version du fascicule 70 (titre II § II-6) indique que « Pour les espaces non circulés, les drains agricoles peuvent être utilisés ». Pour ces canalisations, voir norme NF U51-101 [2]

En fin de chantier, la réception impose la visite de l'ensemble des regards, exutoires et rejets ainsi qu'une auscultation vidéo des sections a priori les plus critiques.

Par la suite, le rythme des relevés est à moduler en fonction de l'ouvrage auquel les drains participent (tranchée, éperon, couche drainante, etc.). Le maintien en bon état de l'exutoire et des orifices est essentiel.

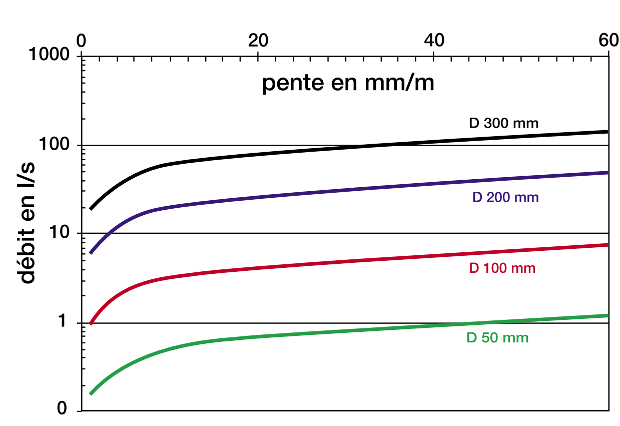


Schéma n° 44 : débit pour des drains annelés en fonction de la pente et du diamètre

4.3 - Ouvrages annexes

Pour des raisons de sécurité, ces ouvrages doivent être pris en compte dès la conception et conformément aux principes généraux du guide « Traitement des obstacles latéraux » [20]

4.3.1 - Traversées

Les traversées sont des canalisations enterrées canalisant l'eau et lui permettant de franchir la chaussées en souterrain. Elles permettent notamment de raccorder des ouvrages de drainage situés dans un terre-plein central ou d'un côté de la chaussée (cas des profils mixtes ou des chaussées à dévers unique) vers des collecteurs ou un exutoire situé vers le côté aval du profil en travers.

Ces parties d'ouvrage seront conçues soit comme des raccordements classiques (tuyaux non drainants) soit comme les ouvrages de drainage qu'ils prolongent (tranchées, saignées, épis, écrans drainants). La partie drainante (buse en acier, drain PVC...) sera préférentiellement composée d'un seul élément, garantissant un écoulement continu vers l'aval.

Le raccordement aval est à soigner et à contrôler en phase travaux, car les déboîtements peuvent engendrer des désordres liés à l'eau qui s'infiltre au lieu de s'écouler.

4.3.2 - Regards de visite

De formes différentes, rondes, carrées, rectangulaires, les regards de visite peuvent être préfabriqués en cas de répétition ou coulés en place. Ils doivent être dimensionnés correctement avec un minimum de 0,70 x 0,70 m (pour le passage d'un homme ou de l'hydrocureuse dans tous les cas) et doivent être arasés au niveau du terrain fini.

Certains fabricants d'EDRC proposent des éléments préfabriqués en PVC qui s'emboîtent en partie inférieure sur le drain. Ces dispositifs conviennent pour des profondeurs inférieures à 1m. Leur diamètre intérieur de 0,40 m et la forme adaptée (entrée « courbe ») doit permettre le passage de l'hydrocureuse. Certains ont une forme rectangulaire (0,40 x 0,70 m).

S'ils n'équipent pas de drains de rives, ils sont implantés en dehors des BAU, sur la berme* et situés soit au point de changement de direction ou en section courante pour respecter les exigences imposées par l'entretien. Ils comportent un radier en partie inférieure, un coffre de hauteur variable et une tête dans laquelle s'emboîte le couvercle amovible.

Les regards de surveillance et d'entretien sont à poser tous les 70 à 80 m environ et à tous les endroits utiles pour l'entretien. La distance maximum est de 100 m pour permettre le passage de l'hydrocureuse (en principe tous les trois ou cinq ans). L'implantation doit être déterminée précisément en veillant à ce que les regards ne débouchent pas dans des zones de concentration des eaux de ruissellement de plate forme (cunette par exemple).

Les tampons des regards de visite ou des regards d'exutoire, dans la mesure où ils sont proches des voies en circulation, doivent être calculés pour résister à des charges roulantes importantes (1/2 essieu) selon le lieu d'utilisation (trottoir, accotement, bande routière...). Lorsque les regards sont situés en rive de chaussée, il est préférable, pour des questions de sécurité, de prévoir des couvercles en fonte à verrouiller sur le regard afin de limiter les risques pour la sécurité des usagers ainsi que les dépenses d'entretien. Les regards doivent être également judicieusement placés pour permettre aux agents d'entretien d'y accéder en toute sécurité.

L'état des regards doit faire l'objet de visite à rythme soutenu. Il est par ailleurs recommandé de soulever les tampons chaque année pour vérifier le bon fonctionnement de l'ensemble et ainsi mettre en évidence les éventuelles mises en charge.

4.3.3 - Exutoires

Il s'agit du point de rejet des eaux hors de l'emprise et plus généralement tout ce qui permet d'évacuer l'eau collectée (fossé, canalisation...). Il est généralement matérialisé par un regard de visite qui met en relation le réseau de drainage et le réseau d'assainissement de la plate-forme routière.

Pour des raisons de sécurité, et ce quelle que soit la capacité d'évacuation longitudinale des dispositifs, on a tout intérêt à ne pas trop espacer les exutoires. Leur position peut être jumelée avec celle des regards de visite. Dans la mesure du possible, la distance entre un point haut du drain et l'exutoire immédiatement situé en aval ou entre deux exutoires situés sur un même écoulement ne doit pas dépasser 500 m. Si la configuration du terrain s'y oppose, on a recours à la mise en place d'un collecteur spécifique.

Le rejet des eaux est généralement effectué dans un fossé ; s'il est situé le long d'une voie ouverte à la circulation, il devra comporter une tête de sécurité. Dans tous les cas, la sortie du drain doit être matérialisée par une tête d'exutoire bétonnée comportant une grille anti-rongeurs. La tête de drain doit être implantée en surélévation dans le talus du fossé afin qu'elle ne constitue pas une gêne pour le fauchage.

Pour les rejets en zone d'écoulement naturel, il peut être utile d'accompagner les rejets au moins sur quelques mètres, ou mieux jusqu'à l'écoulement naturel récepteur. Les descentes les plus utilisées sont constituées d'éléments emboîtés (tuiles), ou d'éléments en arc de cercle (demi-buses métalliques). Les premières vieillissent fréquemment mal (déboîtement), du fait souvent d'une mauvaise pose.



5 - Exécution des travaux, application de l'assurance qualité achèvement des travaux de drainage, exploitation et entretien

5.1 - Exécution des travaux de drainage

On pourra se reporter également au chapitre 7 du guide « Écrans drainants en rive de chaussée » pour la réalisation des travaux [12].

Une fois la décision d'équipement prise, les dispositifs de drainage, sont des ouvrages dont la qualité de pose est le seul véritable gage de la pérennité de la chaussée. Au pire, ce type d'ouvrage peut alimenter en eau les chaussées et leur support et l'on peut voir alors les dégradations s'accélérer bien plus que dans la situation sans dispositif de drainage.

L'exécution des différents dispositifs de drainage est traitée dans le chapitre 4 de ce guide qui aborde la réalisation des travaux, les actions particulières de drainage en phase de travaux de terrassement et les contrôles.

5.1.1 - Réalisation des travaux

Période optimale des travaux

La période optimale de réalisation des dispositifs de drainage dépend de l'étape des travaux où l'on se situe :

• s'il s'agit du drainage de rabattement de la nappe par ouvrage profond, il faut choisir une période de basses eaux (généralement été début automne) pour profiter de l'abaissement de la teneur en eau des sols, il faut intégrer le délai prévu dans l'étude géotechnique* ou hydrogéologique* ;

• dans le cas de drainage d'ouvrages superficiels en terrassement, de drainage de chaussées neuves, de drainage de chaussées anciennes, il faut éviter comme pour les travaux de terrassement les périodes pluvieuses, car la partie superficielle des sols génère des boues et donc une pollution lors de la mise en œuvre ;

• dans le cas particulier des travaux de pose de drains de rives (tranchée drainante ou EDRC) la période optimale dépend des objectifs visés :

- si le dispositif est destiné à atténuer les effets néfastes d'une augmentation d'humidité lors des périodes pluviales ou à renforcer la protection vis-à-vis du gel-dégel, la période optimale se situe lorsque les teneurs en eau sont les plus basses, c'est-à-dire en France, entre juillet et octobre ;
- lorsqu'il est destiné à lutter contre les dessiccations*, la période optimale se situe plutôt entre la fin du printemps et le début de l'été, au moment où la teneur en eau n'est pas trop basse (avant l'apparition des fissures) ;
- dans le cas de travaux curatifs (fissures déjà apparues), il n'y a plus de période optimale.

Gestion des interfaces

La plupart des dispositifs de drainage traditionnels - saignée drainante, épis drainants, couche drainante, tranchée drainante - ne se prêtent pas à une construction évolutive pouvant aller de la phase terrassement à la réalisation de la chaussée elle-même. Avec certains types d'EDRC manufacturés, il est possible d'envisager ce scénario.

La mise en oeuvre des drains de rives de chaussée est différente selon que la chaussée et l'accotement sont déjà réalisés ou ne le sont pas. Cet aspect des phases de chantier a une importance sur le choix des ouvrages longitudinaux (tranchée drainante, écran drainant manufacturé, écran drainant construit en place).

Les interfaces de marchés ou d'entreprises feront l'objet de points d'arrêt*, lorsqu'il y a au moins 2 entreprises, permettant de vérifier la continuité de l'ouvrage de drainage.



Photo n° 15 : mauvaise organisation de chantier provoquant une stagnation d'eau au point bas de la piste, malgré la présence de fossés de part et d'autre (photo CETE Normandie-Centre, LRPC Blois)

5.1.2 - Actions particulières de drainage en phase de travaux de terrassement

L'exécution des travaux de terrassement pour la réalisation des remblais, des déblais et des couches de forme ne peut se réaliser sans le respect de certaines règles élémentaires dans le domaine de la maîtrise de l'eau.

Certaines de ces dispositions constituent les règles de l'art en terrassement, et sont mentionnées dans le CCTG Travaux [8] fascicule 2 - articles 5.10 « Assainissement et drainage provisoire du chantier » et 5.15 « Ouvrages drainants ».

Les travaux de terrassement (extraction, trafic, compactage, ...) sont rendus difficiles lorsque l'ouvrage est fragilisé par les infiltrations d'eau (chute des portances, rupture de talus, ravinement...). Les répercussions sur les délais et les coûts sont loin d'être négligeables (obligation de traitements, substitutions, retards d'exécution…).

Entretien des surfaces

Tant en déblai qu'en remblai, il est primordial d'entretenir les surfaces terrassées où à terrasser. La justification de cette opération est multiple et profite autant à l'entreprise qu'au maître d'ouvrage, car :

• elle favorise le ruissellement, donc diminue du même coup l'infiltration ;

• elle maintient l'état hydrique des matériaux et la portance des sols ;

• elle favorise la circulation des engins ;

• elle minimise le volume de traitement des sols nécessaire ;

• les délais d'exécution des travaux sont raccourcis.

L'entretien consiste habituellement :

• à la création et au maintien d'une pente transversale d'au moins 4 % (dévers unique ou en toit),

• au nivellement régulier par passage d'une lame (niveleuse ou bouteur) pour éliminer en cours de journée les matériaux excédentaires et réduire l'orniérage, afin d'assurer la continuité du ruissellement,

• au réglage et à la fermeture journalière des surfaces par un compactage de préférence au pneu, même peu important, en déblai comme en remblai.

Évacuation des eaux de pluie

Cette opération s'effectue avec des ouvrages provisoires qui sont entretenus quotidiennement en période pluvieuse comme en période sèche.

En déblai, il faut assurer la continuité du fil d'eau en pied de talus relié à un exutoire. En remblai, pour éviter le ruissellement anarchique et le ravinement le long des talus, un bourrelet de terre en bordure du talus canalise l'eau jusqu'à une descente d'eau (provisoire ou définitive) positionnée en point bas et soigneusement raccordée.

Les talus d'un déblai comme d'un remblai doivent être protégés des eaux de ruissellement. En attente (le cas échéant) d'un ouvrage définitif, des descentes d'eau provisoires pourront être exécutées. Dans le cas des déblais, un fossé en crête de talus est souvent réalisé : il sera important de ne pas oublier son existence en fin de chantier afin d'éviter toute stagnation d'eau en haut d'un talus.

Le renvoi des eaux collectées sur le chantier au milieu naturel doit se faire en conformité avec la réglementation de la loi sur l'eau et les engagements pris au niveau du dossier de la police des eaux [15]. En effet, il convient de débarrasser les eaux du chantier des matières en suspension qu'elles contiennent (pollution au moins minérale par la boue du chantier) par des bacs de décantation et d'éventuels barrages en paille ou autre avant leur renvoi au milieu naturel.





Photo n° 16 : exemple de déblai sans exutoire. L'accumulation des eaux de pluie a provoqué un effet « piscine « [la flèche rouge indique un repère commun] (photo CETE Normandie-Centre, LRPC Blois)

Quelques règles de conduite de travaux

• éviter la formation de cuvettes ou de points bas qui sont autant de pièges à eau. La réalisation des ouvrages pour passage inférieur ou l'exécution des déblais à partir d'un point haut sans assurer d'exutoire sont des situations pouvant momentanément bloquer un chantier par accumulation d'eau ;

• veiller à maintenir une pente longitudinale vers un exutoire afin de ne pas créer d'effet « piscine ». Lorsque ces situations sont inévitables ; elles devront être prévues dans le cadre du marché afin de faire réaliser par l'entrepreneur des opérations permettant malgré tout l'évacuation de l'eau (pompage, fonçage de drain…) ;

• réaliser les terrassements en suivant la baisse du niveau d'eau dans les sols peu perméables et en présence d'une nappe : des travaux menés trop rapidement pourraient rendre les talus instables, malgré une pente correctement évaluée, à long terme. Une solution alternative consiste à rabattre la nappe avant le début de l'extraction des sols ;

• commencer normalement les déblais par leur côté aval sur profil en long, pour qu'ils puissent être assainis en permanence ;

• compacter les bords du remblai comme le cœur du remblai car les talus mal compactés d'un remblai sont sujets à des infiltrations rapides donc causes de désordres. Les compacteurs ne travaillent pas pour des raisons de sécurité en bordure d'un talus ; il est donc conseillé de réaliser la plate-forme avec une sur largeur au moins égale à 1 mètre, qui est ensuite ôtée à la pelle ou à la lame. Cela nécessite temporairement une emprise au sol plus importante. *cf.* art 5.8 « Remblais » du fascicule 2 du CCTG [8] ;

• il s'avère souvent que les drains sont très détériorés après l'exécution des terrassements ou après celle des chaussées. Ce point doit être contrôlé attentivement, si l'action des drains est prise en compte à terme dans le dimensionnement des chaussées.

5.1.3 - Contrôles

Selon les précisions du marché, divers contrôles sont possibles et peuvent être réalisés sous la responsabilité de l'entreprise ou celle du maître d' œuvre. Ce guide technique ne donne pas une répartition type des contrôles entre ces deux interlocuteurs (Entreprise - Maître d'œuvre). Se reporter au chapitre 5.2.2 « Plan d'assurance Qualité » pour la liste des contrôles avec les points d'arrêts* et les points critiques*, donnée à titre indicatif, à effectuer pendant et après la réalisation des travaux (*cf. tableau n° 13).*

5.2 - Application de l'assurance qualité dans les travaux de drainage

Pour plus d'information, se reporter au guide « Organisation de l'assurance qualité dans les travaux de terrassement » [13].

La pose d'un ouvrage de drainage est un cas d'application particulièrement intéressant pour une démarche qualité à double titre :

• le soin apporté aux travaux dans leurs moindres détails conditionne la qualité de l'ensemble ;

• les malfaçons ne sont pas faciles à constater après la pose et encore moins à repérer. La reconstruction totale est bien souvent leur seul remède.

On voit là tout l'intérêt d'une démarche qualité qui assurera au moment même de la pose le suivi de toutes les composantes de la qualité.

Que les travaux de drainage fassent l'objet de marchés spécifiques ou qu'ils représentent une partie de marchés plus importants (terrassements, chaussées), ceux-ci devront intégrer l'assurance de la qualité des travaux de drainage.

L'intérêt du maître de l'ouvrage ou de son maître d' œuvre à la gestion de la qualité par l'entreprise, s'exprime lors de la constitution du Dossier de Consultation des Entreprises (DCE). Ce DCE définit :

• les stipulations techniques de ou des ouvrages à construire (CCTP) ;

• l'organisation de l'assurance de la qualité exigée de l'entrepreneur :
- les contrôles à la charge de l'entrepreneur (CCTP) ;
- les points critiques* (PC) et les points d'arrêt *(PA) (CCTP) ;
- le contenu du SOPAQ (RC) et du PAQ (CCTP).

5.2.1 - Schéma Organisationnel du Plan d'Assurance Qualité (SOPAQ)

Toutes les dispositions retenues par l'entrepreneur pour satisfaire aux stipulations techniques exprimées dans le Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP - *cf.* annexe 4) doivent figurer au SOPAQ. Le maître d'œuvre doit définir au Règlement de la Consultation (RC) les exigences que l'entrepreneur doit prendre en compte pour établir son SOPAQ. Ces besoins varient selon le dispositif de drainage retenu et sont exposés en détail dans le Dossier de Consultation des Entreprises (DCE).

Le SOPAQ comprend l'organigramme de l'entreprise avec les différentes fonctions, la nature des prestations sous-traitées et les principaux sous-traitants, la provenance des fournitures, la description des moyens et méthodes d'exécution utilisées ainsi que les moyens et méthodes de contrôles envisagés.

Si le RC le demande, l'entreprise décrira dans ce document les particularités techniques du procédé de drainage à mettre en oeuvre, comme par exemple les moyens de tranchage utilisés, le type de guidage dans le cas d'utilisation d'une trancheuse, l'assemblage des géosynthétiques, les moyens de compactage, l'exploitation de la route sous chantier, etc.

Le SOPAQ est remis par l'entrepreneur avec son offre et constitue son engagement en matière d'assurance de la qualité et représente une des pièces importantes de la démarche car il sert de jugement des offres d'une part et préfigure le PAQ d'autre part.

Le SOPAQ doit être contractualisé par le CCAP et demeure la référence contractuelle pendant le chantier.

5.2.2 - Plan d'Assurance Qualité (PAQ) particulier au chantier

Dans la période de préparation du chantier, l'entrepreneur établit, à partir de son SOPAQ, un projet de PAQ. Après mise au point, le PAQ est visé par le maître d'œuvre.

Le CCTP précise que le PAQ est constitué des éléments suivants :

• une note d'organisation générale qui comprend notamment :
- l'affectation des tâches ;
- la gestion des interfaces ;
- l'organisation du contrôle intérieur ;
- les principes de gestion et de traitement des non conformité ;

• les procédures d'exécution définissant :
- les moyens et les conditions d'exécution des travaux ;
- les méthodes d'implantation et du suivi topo ;
- les contrôles et essais réalisés (nature, fréquence) ;
- les Points d'Arrêt* et Points Critiques* en plus de ceux définis dans le CCTP ;

• les fiches de suivi et de résultats à raison d'une fiche par tâche élémentaire et/ou par journée de travail, ces fiches fournissent la preuve au maître d'œuvre que les stipulations du marché ont bien été respectées. Elles servent également à l'établissement du dossier de récolement.

Le tableau n° 13 donne quelques Points d'Arrêts* (PA) et Points Critiques* (PC). Certaines tâches communes aux terrassements (signalisation, sécurité, …) ne sont pas reprises dans ce tableau.

• ***Agrément des éléments préfabriqués*** Vérification de la conformité aux spécifications du marché (EDRC. manufacturés, équipements d' exutoires, regards, géotextile, drains, canalisations…).	PA
• ***Agrément des matériaux*** Vérification des caractéristiques et agrément des matériaux : composition du béton poreux, des Graves Non Traitées, des matériaux granulaires de remplissage, …	PA
• ***Sécurité du chantier*** Travaux sous circulation, stabilisation des talus, verticalité des parois de tranchée, …	PC
• ***Les contrôles à la mise en oeuvre*** Ils comportent au moins la vérification des points suivants :	
- des **implantations** de l'ouvrage à l'emplacement voulu dans le profil en travers ; Une rigueur plus importante doit être apportée dans l'implantation des ouvrages lorsque ceux-ci sont posés en fin de travaux de terrassement	PC
- de la **largeur** des ouvrages ;	PC
- de la **profondeur** des ouvrages et de la **régularité de la pente** longitudinale : cela peut nécessiter un système de référence de nivellement précis (laser, fil, etc). On cherchera à éviter tout point bas en cours d'exécution de l'ouvrage ;	PC
- de la **propreté** et la **régularité** du fond de fouille ;	PC
- de la nécessité de **réaliser des purges** ;	PA
- du **raccordement des drains, des canalisations, des géotextiles** dans les tranchées drainantes, les écrans manufacturés ou les enveloppes filtres des EDRC construits en place, l'intégrité des assemblages après leur passage dans le caisson ;	PC
- de la **continuité** des systèmes de guidage, des raccordements aux regards et aux exutoires, de la vérification de leur fonctionnement, sauf si on ne peut pas prévoir de réception de l'ouvrage dans ce cas ***PA*** *;*	PC
- de la **pose des ouvrages annexes** en général (sorties d'exutoires, grilles anti-rongeurs…) ;	PC
- de la **verticalité** de la pose des ouvrages longitudinaux (écran dans le caisson, dans la tranchée) et de leur placage contre les interfaces à drainer ;	PC
- du **nettoyage** des abords de l'ouvrage ;	PC
- du **réglage** de la surface de l'accotement ;	PC
- de la **conformité** du matériel de compactage ;	PA
- de la **qualité du compactage** des couches mises en œuvre (nombre et épaisseur des couches de remblai, nature et état des matériaux, nombre de passes de compactage, largeur de compactage, vitesse des compacteurs) [11] après réalisation d'une planche de convenance	PC PC
qui elle, est marquée par un point d'arrêt ;	PA
- de la **régularité des approvisionnements, de leur conformité** et de l'absence de ségrégation des matériaux ;	PC
- de la régularité du remplissage des tranchées.	PC

Tableau n° 13 : quelques Points d'Arrêts (PA) et Points Critiques (PC).

5.2.3 - Schéma Directeur de la Qualité (SDQ)

Pendant la période de préparation du chantier, le maître d'œuvre établit en concertation avec l'entrepreneur et le contrôle extérieur le Schéma Directeur de la Qualité (SDQ). Il n'est pas contractuel ; son but est de s'assurer de la cohérence de la démarche qualité attendue de chaque intervenant par l'examen global des actions prévues. Il peut évoluer durant toute la durée du chantier. C'est la description précise de toutes les tâches à exécuter, en désignant si possible, les personnes chargées de leur réalisation.

Ce schéma comprend notamment :

• les Plans d'Assurance Qualité (PAQ) des différents intervenants ;

• l'organisation du contrôle extérieur* vis-à-vis du contrôle intérieur* ;

• la liste des points critiques* et des points d'arrêt* ;

• la gestion des interfaces entre les prestations assurées par les différentes entreprises. Ces interfaces sont fréquemment à l'origine d'un manque de qualité.

5.3 - Achèvement des travaux de drainage

5.3.1 - Réception

La réception est prononcée au vu des contrôles effectués en fin de chantier. Ils peuvent être visuels, effectués par prélèvement, levée par géomètre, piézométrie, investigations par sondage, par fouille, méthode géophysique (géoradar), passage de caméra…

On vérifiera :

• **la conformité des travaux ;**

• la **mesure de la compacité des matériaux** de remblai : elle peut être réalisée à l'aide du pénétromètre dynamique. Cet essai, bien que ponctuel, peut être multiplié et utilisé dans un plan de sondages à valeur statistique ;

• **la continuité des écoulements :** une fois les ouvrages construits, on peut injecter de l'eau contenue dans un réservoir, dans le réseau à partir des regards et vérifier que l'on retrouve bien les écoulements en aval. Il convient d'analyser ce test avec prudence. S'il se révèle positif, il ne garantit pas la régularité du fil d'eau. Dans le cas des EDRC, cette méthode ne peut être interprétée que si l'écran dispose d'un dispositif collecteur étanche à sa base.

La vérification peut également être faite avec la caméra, avec le passage de l'hydrocureuse (contrôle direct du fonctionnement) dans les parties du système de drainage composées de collecteurs généralement visitables, ce qui, rappelons-le, limite l'espacement maximum des regards à 100 mètres.

En cas de litige, on peut procéder à l'ouverture de la tranchée.

5.3.2 - Remise du plan de récolement

Contrairement aux dispositifs d'assainissement dont la quasi-totalité des éléments est en surface et donc repérables, la presque totalité des éléments d'un réseau de drainage sont enterrés ce qui ne facilite ni la vérification de leur existence ni leur état d'entretien. C'est pourquoi il est **indispensable** que le service gestionnaire de la route dispose d'un plan de récolement établi après la réalisation du réseau de drainage.

Le plan de récolement indique l'emplacement réel des dispositifs, des exutoires, des regards, etc.

5.4 - Exploitation et entretien des dispositifs de drainage

L'équipement d'une chaussée par un dispositif de drainage est un investissement qui a un objectif permanent : évacuer les excès d'eau dans les structures de chaussées et les sols support afin d'éviter l'apparition de dégradations précoces et/ou leur accélération. Les réseaux de drainage doivent donc être l'objet d'un suivi et d'un entretien au même titre que l'assainissement.

5.4.1 - Visite de l'ouvrage avec plan de récolement

Dès la remise de l'ouvrage, il est recommandé au service chargé de l'entretien d'effectuer une visite complète de l'ouvrage en s'appuyant sur le dossier de récolement pour reconnaître toutes les parties du dispositif de drainage et sur la notice d'entretien de ces ouvrages. Cette opération est indispensable avant d'établir le programme de visites et d'entretien périodiques.

On situera, en particulier :

• l'accessibilité et la protection des tampons des regards de visite et d'exutoires ;

• la position des têtes d'exutoires.

5.4.2 - Établissement du point zéro en l'absence d'un plan de récolement

Si le dossier de récolement fait défaut, le service gestionnaire exploitant se doit de constituer le « point zéro » à la prise de possession de l'ouvrage.

Dans un premier temps, la lecture des pièces du marché permet de prendre connaissance des solutions de drainage prévues. Il convient ensuite de vérifier sur le terrain si elles existent. Les dispositifs étant enterrés, un indice de leur présence peut être donné par les regards de visite et les exutoires qu'il convient de localiser avec précision. Il est ainsi possible d'avoir une vue d'ensemble des dispositifs :

• géométrie et accessibilité des ouvrages ;

• pente des fils d'eau des drains ;

• raccordement des dispositifs aux exutoires ;

• position des regards de visite, diamètres des drains ;

• protection des têtes d'exutoires.

Dans un deuxième temps, et si cela est nécessaire à la compréhension du dispositif de drainage, on pourra avoir recours à des ouvertures comme indiqué au § 5.3.1.

Le point zéro doit préciser l'état d'entretien de toutes les parties du dispositif de façon à dresser, éventuellement, la liste des travaux de premier entretien indispensable au bon fonctionnement de l'ouvrage.

On vérifiera, en particulier :

• le bon écoulement de l'eau dans les fossés ou dans les caniveaux ou descentes d'eau après une période pluvieuse et son évacuation (vérification du niveau du fil d'eau des fossés par rapport aux exutoires du dispositif de drainage) ;

• l'absence de coulées de boues aux exutoires (leur présence est l'indice d'une détérioration du filtre en géotextile du dispositif de drainage ou pire de son absence).

La totalité de ces constatations doit être reportée sur la plan « point zéro » du réseau de drainage. Ceci permet d'affecter des priorités aux actions de réparation selon l'ampleur des dégâts constatés.

Si de telles dispositions ne sont pas très contraignantes pour un service spécialisé chargé de l'entretien d'une voie express ou d'une autoroute, il n'est pas sûr qu'il en soit de même pour les services qui ont en charge les réseaux courants de routes nationales ou départementales. Néanmoins, cette tâche est primordiale et doit être réalisée dans toute la mesure du possible.

5.4.3 - Travaux d'entretien et de maintenance

Si le gestionnaire s'est trouvé dans l'obligation d'établir un point zéro et de procéder à des travaux de remise en conformité, il s'agit d'une tâche préliminaire qui doit faire l'objet d'une étude après expertise.

La nature et l'importance des travaux sont à définir à partir des règles précisées au chapitre 5.1.2.

La maintenance d'un réseau de drainage comporte deux parties ; la surveillance et l'entretien.

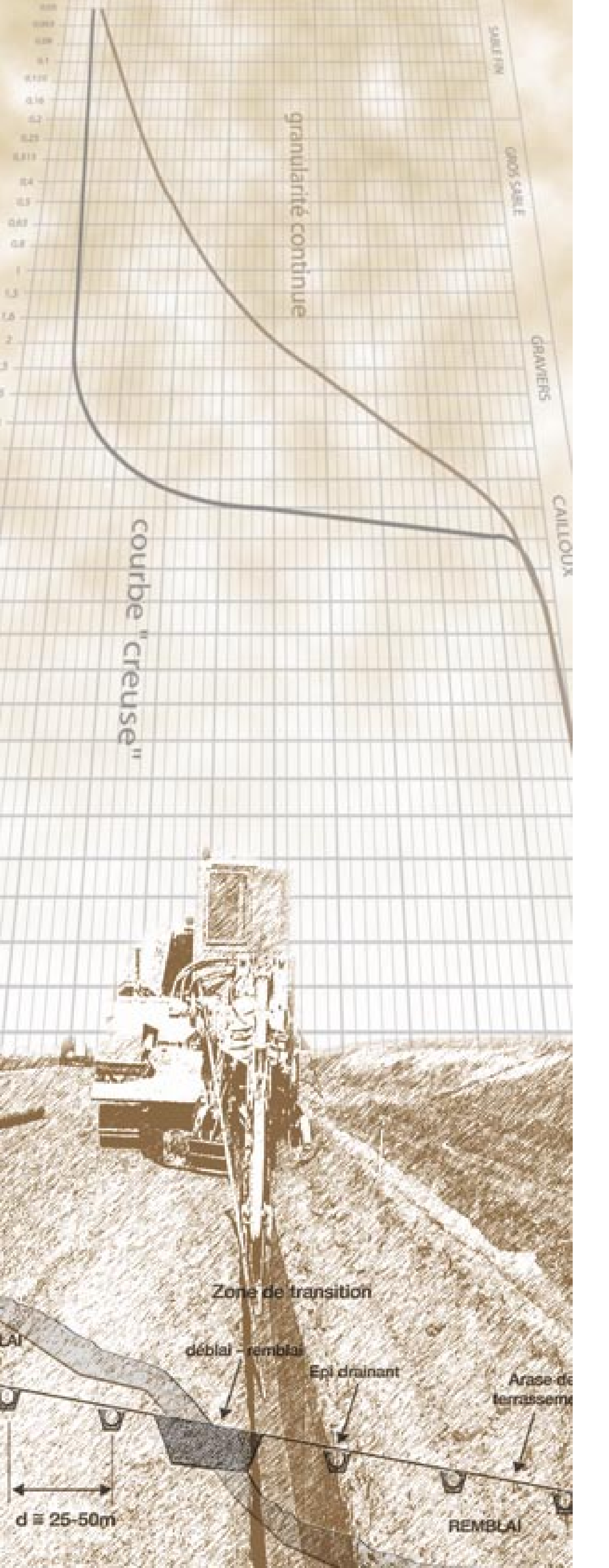
La surveillance

La surveillance doit être régulière et s'effectuer conjointement à celle de l'assainissement général [10].

Il faut noter que les périodes les plus propices pour déceler des anomalies de fonctionnement se situent pendant un épisode pluvieux ou juste après.

L'entretien et la périodicité de l'entretien

Pour l'entretien des différents dispositifs de drainage, il faut se reporter au chapitre 4 de ce guide.



Annexe 1

Les études hydrogéologiques* particulières

Les études hydrogéologiques* qui peuvent être demandées dans le cadre d'un projet nécessitant des conditions de drainage particulières (existence d'une nappe phréatique, captage des arrivées d'eau en talu, …) comporteront selon la mission géotechnique de type demandée (norme NF P 94-500 [4]) :

Mission de type G11, étude préliminaire de faisabilité

L'étude géotechnique aura mis en évidence le besoin de recourir à des parades, avec souvent des difficultés à préciser des ordres de grandeurs pour ces ouvrages. Le nombre des sondages réalisés ainsi que leur nature influe beaucoup sur la précision des conclusions. L'étude précisera néanmoins dans le rapport et/ou sur le profil en long géotechnique, les déblais ainsi que les numéros de profils concernés par des arrivées d'eau lorsqu'elles ont été détectées.

Elle doit mettre également en évidence la présence d'eau en précisant dans la mesure du possible :

- s'il existe une nappe et suivre son évolution sur au moins une année voire plus d'un an si nappe de forte capacité ;
- s'il y a des arrivées d'eau ;
- si l'eau est pérenne ou sujette à assèchement ;
- s'il existe des circulations d'eau, des résurgences connues ou tout autre élément que seule une investigation de terrain permet de connaître.

Il est important également de préciser le contexte météorologique dans lequel les sondages ont été réalisés ; en période de sécheresse les résultats sont souvent optimistes. D'autres sources d'informations pourront être consultées : bibliographie, connaissance régionale, enquête de terrain…

L'étude géotechnique indiquera également lorsque cela est prévisible, si les ouvrages sont nécessaires sur les deux talus : il peut arriver que les venues d'eau s'assèchent sur le talus opposé au sens de circulation préférentielle des eaux internes

Il sera nécessaire de préciser :

• la présentation des grandes unités hydrogéologiques locales ou des écoulements souterrains, dans le cadre des connaissances régionales ou d'expériences antérieures ;

• l'évaluation approximative des conséquences possibles de l'hydrogéologie sur le projet ;

• réciproquement, l'impact prévisible du projet sur l'hydrogéologie locale (modifications des écoulements…) ;

• une évaluation des incertitudes de l'étude sur les informations fournies ;

• la définition du programme des études de **type G 12** à entreprendre sur le sujet.

Mission de type G 12, étude de faisabilité géotechnique*

Il s'agit d'une étude particulière pour valider les hypothèses de drainage et définir précisément les principes généraux de construction des ouvrages de drainage. Pour cela, il sera nécessaire de définir :

• la géométrie détaillée du réservoir aquifère[1] (positions du toit, du mur, pentes…) ;

• les caractéristiques hydrauliques de l'aquifère[1] (perméabilités, carte piézométrique…) ;

• le bilan de l'alimentation et des pertes (traçages éventuels) ;

• l'équipement du site pour suivi de l'évolution de la piézométrie (pose de piézomètres…) ;

• l'évaluation des contraintes apportées par l'aquifère dans l'élaboration du projet, et réciproquement l'évaluation de l'influence prévisible du projet sur les perturbations de l'aquifère[1] ;

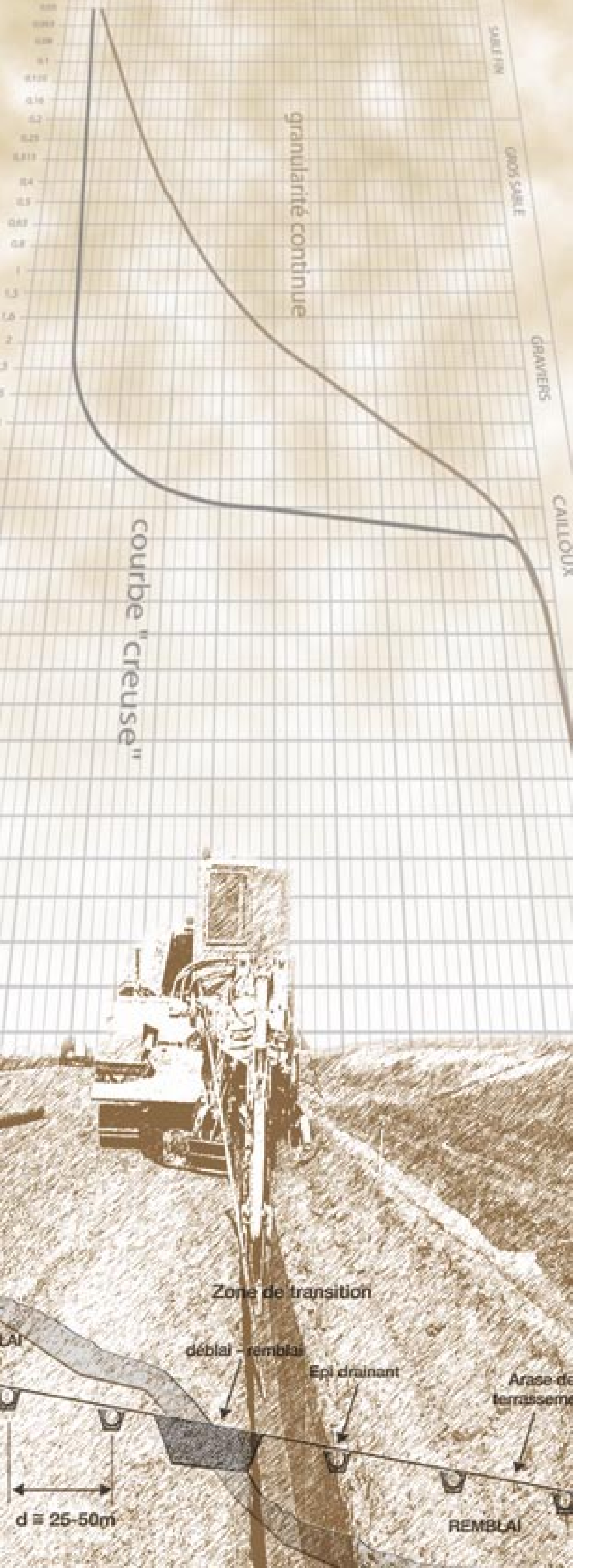
• une évaluation des incertitudes de l'étude sur les informations fournies ;

• la définition du programme des études **de type G2** à entreprendre sur le sujet.

Mission de type G 2, étude de projet géotechnique*

Cette mission doit permettre d'établir très exactement la géométrie de l'ouvrage et son dimensionnement. La phase 1 comprend quelques notes de calcul de dimensionnement, une estimation des quantités, des délais et coûts d'exécution des ouvrages et la phase 2 les documents nécessaires à la consultation des entreprises.

(1) Le terme d'aquifère est utilisé ici au sens très large du terme et peut regrouper l'ensemble des systèmes hydriques tels que nappe aquifère, source, eau souterraine…



Annexe 2

Amélioration des conditions hydriques des matériaux

Il s'agit de réaliser des ouvrages destinés à collecter les eaux de surface ou souterraines et à drainer le terrain naturel, ouvrages provisoires qui peuvent selon les cas, être intégrés dans les systèmes de drainage ou d'assainissement définitifs.

Ces travaux assureront de meilleures conditions de réalisation des terrassements, et un meilleur taux de réutilisation des matériaux. Mais, il convient d'ajouter que même si la situation initiale est améliorée en réduisant les teneurs en eau des matériaux, le drainage ne permet pas d'éviter dans tous les cas le traitement des matériaux par des réactifs adaptés.

Lorsqu'une amélioration de l'état hydrique des matériaux est recherchée, les études auront défini (*cf.* annexe 1) :

• la nature des sols à drainer, leur état hydrique, et leur géométrie ;

• l'évaluation de leur perméabilité ;

• les conditions météorologiques au moment des sondages notamment et leur influence par rapport au besoin de drainage ;

• les caractéristiques de la nappe, ou les conditions hydrogéologiques en général ;

• les conséquences du projet sur l'environnement (et réciproquement) ;

• les moyens possibles de réalisation du drainage et le dimensionnement.

Les études doivent évidemment cerner les conditions hydrogéologiques les plus défavorables. Dans l'idéal, le suivi des niveaux d'eau se fera sur au moins une année, en précisant le contexte climatique (année humide ou année de sécheresse).

En plus des moyens classiques de sondage et de reconnaissance de terrain (piézomètres, prélèvements d'échantillon, essais de pompage…) l'apport de la photo-interprétation peut avoir un certain intérêt pour détecter les zones humides et les indices hydriques, hydromorphologiques ou phytographiques.

D'autres sources d'informations peuvent être intéressantes : bibliographie, connaissance régionale, enquête de terrain…

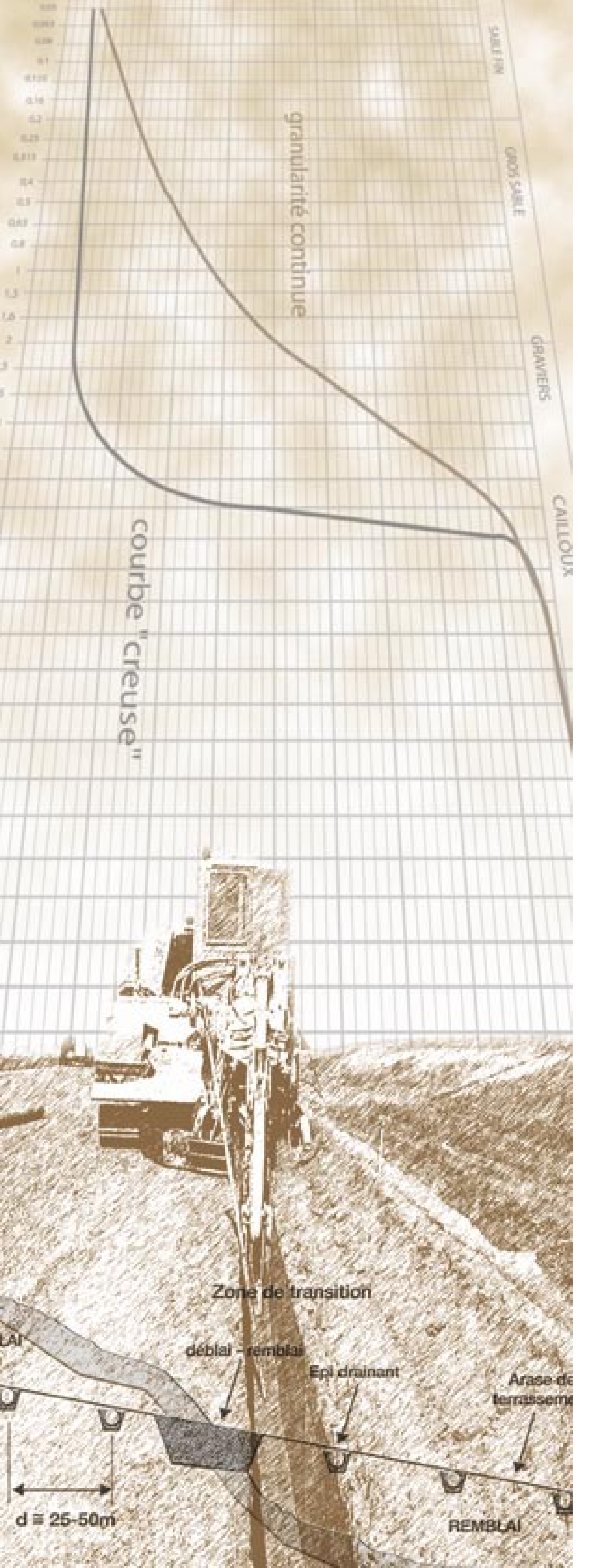
Cas particulier : Les opérations de drainage des sols supports d'un remblai (zones tourbeuses, marécageuses ou humides, zones compressibles d'une manière générale) permettent une consolidation des sols par évacuation de l'eau. Les techniques abordées dans ce guide permettent d'effectuer des opérations de drainage de faible envergure pour préparer l'accès à un terrain dans des zones non compressibles mais de portance très faible (épaisseur des sols à améliorer ≤ 1 m).

Dans le cas de sols compressibles*, une étude spécifique sera réalisée en prenant en compte la mécanique des sols supports et les charges imposées (*cf.* guide « Réalisation des remblais sur sols compressibles » [14])

L'abaissement de la teneur en eau par drainage sera préconisé si la nature des sols s'y prête.

Identification des sols (selon NF P11-300)	Description des sols	Coefficient de perméabilité habituel (en m/s)	Délai d'essorage approximatif en condition météorologique favorable
A1, B5, certains B6	Limons, sables fins argileux	10^{-5} à 10^{-9}	minimum 6 mois, voir +
B1, B2, B4, D1	Sables fins, graves faiblement argileuses	10^{-3} à 10^{-5}	3 à 6 mois
D2, D3, B3, R11, R21, R22, R32, R33, R41, R42, R61, R62,	Graves propres, éboulis, roche fracturée et microfissurée (calcaire, schiste argileux, grès poudingue, roche magmatique et métamorphique)	1 à 10^{-3}	≤ 3 mois
R12, R13, R23, R31, R34, R43, R63	Craie, roches évolutives sous l'influence de l'eau (calcaire tendre, roche argileuse, silts, roches dures altérées)		Matériaux se prêtant difficilement à des améliorations par drainage sauf étude spécifique tenant compte de la fracturation, la microfissuration et la perméabilité intrinsèque du matériau en place
C1, C2	Sols à éléments grossiers (Dmax > 50 mm)		Se reporter aux caractéristiques de la fraction 0/50 mm
A2, A3, A4, certains B6, R5, R3	Argiles, marnes, argiles sableuses, roche saline, roche argileuse évolutive, roche non fissurée	10^{-9} à 10^{-13}	Matériaux ne se prêtant pas à une amélioration par drainage

Tableau n° 14 : identification des sols (selon la norme NF P 11-300) pouvant faire l'objet de drainage



Annexe 3

Evaluation des débits à drainer

3.1 - Au travers des sols support

Selon la texture du substratum et son intersection avec la chaussée, des venues d'eau provenant d'un bassin versant plus ou moins important peuvent s'infiltrer dans les terrains et alimenter la chaussée « par le bas ».

Leur mise en évidence reste souvent délicate (de très faibles débits saisonniers sont suffisants pour faire varier très sensiblement la teneur en eau des sols et des matériaux non traités de la structure).

Elles peuvent généralement être décelées lors des travaux de terrassement en période humide.

Sur chaussée en service, les résurgences sont le plus facilement mises en évidence par temps sec, après une période humide.

Lorsque l'on est en présence de résurgences diffuses dans une zone localisée, leur captage peut se faire par tranchées drainantes longitudinales ou à l'aide d'une couche drainante. On notera également l'efficacité des fossés profonds pour s'opposer aux venues d'eau latérales dans les zones en déblai.

Par contre, lorsqu'une résurgence ponctuelle est décelée, on a recours au captage en un point précis.

En tout état de cause, l'évaluation des débits provenant des résurgences que l'on a détectées doit être fournie par une étude hydrogéologique de type G2 (*cf.* annexe 1).

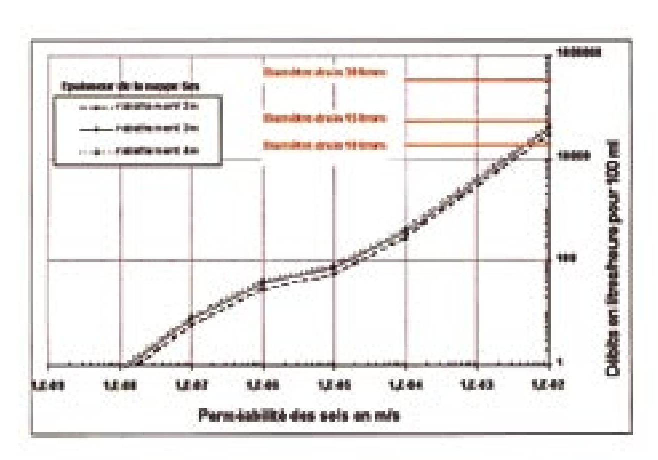
Ci-après diagrammes sur les débits en fonction du rabattement, de l'épaisseur de la nappe, et de la perméabilité des sols pour une tranchée drainante.

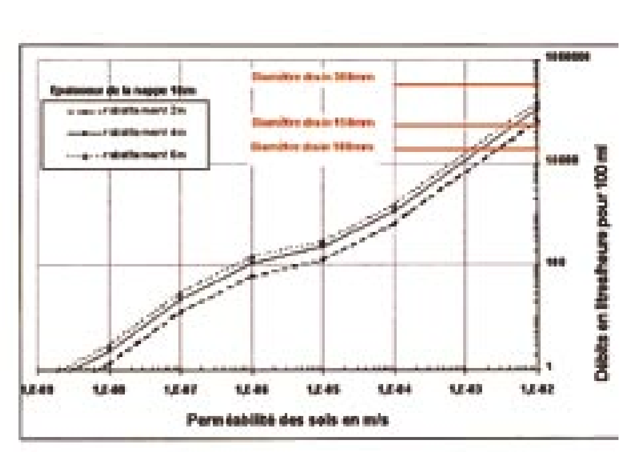
L'objectif de ces diagrammes est de montrer que le débit (et donc la perméabilité du sol) n'est, la plupart du temps, pas dimensionnant vis-à-vis du tuyau de drainage puisqu'il faut atteindre des perméabilités très élevées (1^{E}-3 et 1^{E}-2) pour commencer à rencontrer des difficultés dans l'évacuation avec des drains courants.

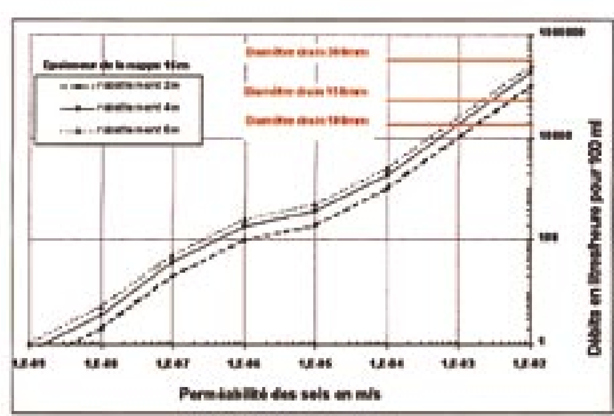
Le dimensionnement s'appuiera sur d'autres paramètres (risque d'obstruction, d'écrasement, de décantation) qui nécessitent un coefficient de sécurité élevé.

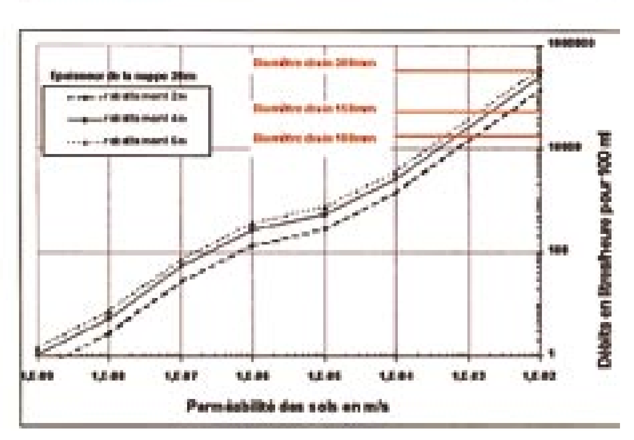
Ainsi, dans les cas les plus courants (argiles limoneuses ou sableuses à sables fins), un tuyau de 150 mm pourra être retenu sans grand risque.

Par contre, dès que l'on aura affaire à des sols de forte perméabilité (supérieure à 1^{E}-5), il est vivement souhaitable de procéder à une étude hydrogéotechnique spécifique qui dimensionnera le réseau de drainage.









Echelle de perméabilité (rappel) : Inf à 1^{E}-9 : argiles
1^{E}-7 à 1^{E}-9 : limons argileux, sables argileux, graves argileuses
1^{E}-5 à 1^{E}-7 : limons, sables limoneux, graves limoneuses
1^{E}-5 à 1^{E}-4 : sables propres
supérieur à 1^{E}-4 : roches fissurées (y compris craie) et graves propres

En noir : *débits d'exhaure* de la nappe en fonction de la perméabilité des sols pour un côté de tranchée (pour le débit total de la tranchée, multiplier le chiffre obtenu par deux) et une longueur de 100 m. Les 4 diagrammes correspondent à des épaisseurs de nappe (au repos) différentes : 5, 10, 15, 20 m.*

En rouge : *débit maximum d'un drain annelé penté à 2,5 %, en fonction des diamètres des drains 100, 150 et 300 mm.*

3.2 - Au travers de la chaussée

Pour dimensionner les dispositifs de drainage, qui généralement recueillent des effluents relativement modestes, il peut être suffisant d'obtenir une estimation par excès des débits d'eau entrant dans la structure de chaussée par les précipitations.

Les différents éléments intervenant dans la détermination du débit sont présentés dans le schéma n° 45.

Le principe du calcul est d'estimer les débits à drainer par mètre linéaire de chaussée à partir de la durée journalière, D, des précipitations, P, et du ruissellement. On suppose que les infiltrations ont lieu lorsque la surface du revêtement est recouverte d'un film d'eau (la surface de la chaussée est soumise à potentiel hydraulique de gradient égal à l'unité). On distingue :

- les débits entrant dans la chaussée :
  - Qe, à travers la couche de roulement ;
  - Qft, par les fissures transversales, ou Qfl, par les fissures longitudinales ;
  - Qr, à l'interface chaussée accotement ;
  - Qa, correspondant aux apports provenant de l'accotement et du bassin versant latéral ;
- les débits transitant aux interfaces, Qi ;
- les débits alimentant le sol support, Qs.

FT : fissure transversale FL : fissure longitudinale P : précipitations

Schéma n° 45 : représentation schématique des différents types d'écoulement sous chaussées et accotement

3.2.1 - Infiltrations diffuses par les couches de surface

Les débits Qe dépendent du coefficient de perméabilité de l'enrobé. A partir du coefficient de perméabilité (tableau n° 15, colonne 2) on obtient pour une durée de précipitation d'une heure les valeurs d'infiltration théorique de la colonne 3 en faisant l'hypothèse que la surface de la chaussée est toujours alimentée. En réalité, si l'on prend en compte les hauteurs des précipitations et les durées, on obtient les valeurs de la colonne 4 qui donnent la proportion d'eau infiltrée à travers un enrobé par rapport à la hauteur des précipitations[1].

Il apparaît clairement que ce n'est que lorsque la compacité est supérieure à 93 % qu'une couche d'enrobés de surface peut vraiment s'opposer aux infiltrations.

Le schéma n° 46 a été établi pour illustrer ce point avec une dispersion de la compacité de ± 2 points ou ± 3 points par rapport à la moyenne.

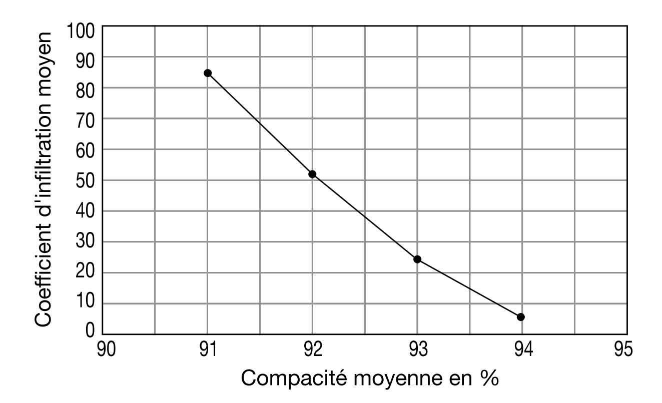


Schéma n° 46 : relation entre la compacité de la couche de surface et l'infiltration de la pluie dans la chaussée

(1)	(2)	(3)	(4)
Compacité (%)	Coefficient de perméabilité (m/s)	Infiltration théorique (l/h) en alimentation continue	Coefficient d'infiltration moyen annuel m (en % des hauteurs de pluies)
85	1.10^{-5}	250	100
92	3.10^{-7}	7,5	60
93	1.10^{-7}	2,5	30
95	1.10^{-9}	0,025	< 5

Tableau n° 15 : infiltration à travers une couche de roulement en enrobé non fissuré pour 1 mètre linéaire d'une chaussée de 7 m de largeur.

(1) Moyenne de 3 précipitations types : 4 mm en 4 heures ; 4 mm en 12 heures ; 40 mm en 12 heures. Ces trois cas simulent bien un climat type du Sud de la france. Pour le Nord, les durées plus élevées peuvent augmenter les valeurs de la colonnes (4).

3.2.2 - Infiltration par les fissures (cf. schéma n° 45)

Les infiltrations, Qf, par les fissures dépendent de leur ouverture. On distingue les infiltrations par les fissures transversales, Qft, , et les infiltrations par les fissures longitudinales ou de rive, Qfl ou Qr (*cf.* tableaux n° 16 et 17).

Les infiltrations de type Qa provenant des accotements, du bassin versant latéral, de l'interception de sources et nappes captives par la chaussée sont plus délicates à évaluer. Dans la mesure du possible, toute arrivée d'eau ponctuelle, ou limitée dans l'espace, doit faire l'objet d'un traitement spécifique.

Les flux d'eaux transitant aux interfaces, de débit Qi, correspondent à différents apports en raison des contrastes de perméabilité entre couches voisines et au fait que la zone de l'interface possède une perméabilité plus forte que celle des matériaux en pleine épaisseur. Les infiltrations de type Qa alimentent également les flux d'eau aux interfaces. Ces apports provoquent une saturation locale qui favorise les écoulements en régime saturé.

		Ouverture des fissures transversales (mm)		
		0,1	0,4	2,4
Distance entre fissures transversales (m)	3	8,5 (65 %)	85 (100 %)	840 (100 %)[1]
	5	5,0 (50 %)	50 (100 %)	500 (100 %)[1]
	10	2,5 (30 %)	25 (100 %)	250 (100 %)[1]

Tableau n° 16 : infiltrations par les fissures transversales, en litres / h, pour 1 mètre linéaire d'une chaussée de 7 m en fonction de la distance entre fissures, (pourcentage d'eau infiltrée par rapport aux précipitations)

Les débits Qi (des interfaces) sont plus faibles que les infiltrations à travers le revêtement, car une mise en charge des couches est nécessaire pour qu'ils apparaissent, sauf lorsque des venues d'eau souterraines sont interceptées par la chaussée. Ces débits seront donc considérés comme négligeables.

Les valeurs des débits Qs (des sols supports) sont difficiles à évaluer et sans objet pratique pour l'objectif visé, ou alors dimensionnés par une étude hydrogéologique.

> Pour le dimensionnement d'un drain de rive, l'estimation par excès du débit des eaux d'infiltration, Qt, arrivant au dispositif de drainage par mètre linéaire de chaussée est donnée par la somme :
>
> Qt = Qe + Qf + Qr + Qa

A titre indicatif, le tableau n° 18 donne une estimation du débit total des eaux d'infiltration par le revêtement d'une chaussée présentant des fissures de retraits et une fissure longitudinale. Les valeurs élevées montrent tout l'intérêt de procéder au pontage des fissures et d'obtenir des enrobés une compacité minimale acceptable.

Ouverture des fissures longitudinales (mm)		
0,1	0,4	2,4
1 (15 %)	10 (70 %)	*100* (100 %)[1]

Tableau n° 17 : infiltrations par une fissure longitudinale ou par un joint de rive pour 1 ml de chaussée en litres/h (entre parenthèses pourcentage d'eau infiltrée par rapport aux précipitations)

(1) valeur théorique trés spérieure au volume des précipitations

Conditions	Coefficient de perméabilité du revêtement (m/s)		
	3.10^{-7}	1.10^{-7}	1.10^{-9}
Non fissuré	60 %	30 %	< 5 %
Avec fissures transversales de 0,1 mm espacées de 3 m	80 %	70 %	65 %
Avec fissure longitudinale de 0,4 mm en rive	100 %	95 %	90 %

Tableau n° 18 : influences conjuguées de la compacité du revêtement et de la présence de fissure sur le pourcentage d'eau infiltrée à travers la couche de roulement d'une chaussée

Exemple d'estimation du dimensionnement d'un dispositif de drainage.

Examinons le cas d'une demi-chaussée (voie de 3,50 m) en pente longitudinale de 2 %, constituée d'un Béton Bitumineux (BB) + Assise + Support.

Les données prises en compte sont :
- Compacité BB = 92 % ;
- Existence d'une fissuration transversale tous les 3 m, ouverture 0,1 mm ;
- Existence d'une fissuration longitudinale en rive, ouverture 0,1 mm ;
- Perméabilité de l'accotement, 10^{-6} m/s soit 3,6 mm/ h.

Un EDRC de 0,50 m de profondeur, H_D, dont le drain collecteur a un diamètre de 90 mm est projeté. On cherche à estimer l'écoulement maximal susceptible d'être capté par lui.

On calcule alors les débits entrant dans la chaussée, par mètre linéaire. Ils sont la somme de trois termes :

1. Qe = débit traversant le BB. C = 92 % conduit à une infiltration théorique de 7,5 l/h pour 7 m de largeur (tableau n° 15) d'où Qe = 7,5 × 3,5/7 = 3,75 l/h ;

2. Qft = débit dû à la fissuration transversale. Le tableau n° 16 indique une entrée de 8,5 l/h pour 7 m de largeur, donc Qft = 8,5 × 3,5/7 = 4,25 l/h ;

3. Qr = débit dû à l'entrée en rive. Le tableau n° 17 indique 1 l/h par mètre linéaire.

Débit total en provenance de la chaussée =

$$Qe + Qft + Qr = 9 \text{ l/h}$$

qui, sous un régime de précipitation établie (durée longue), et dans le cas d'un support de très faible perméabilité, alimenteront le drain de rive.

Il convient d'y ajouter le débit capable d'être collecté par la face côté accotement du drain. Soit une largeur de 1 m de rive concernée, sur la hauteur de 0,50 m :

$$Qa = 10^{-6} \times 1 \times 0{,}5 \times 3600 \times 1000 = 1{,}8 \text{ l/h.}$$

Le débit collecté est donc de l'ordre de 11 l/h par mètre linéaire soit 3.10^{-3} l/s

On trouve dans les abaques (documentation des fournisseurs), qu'un drain de 90 mm de diamètre, dont la pente est de 2 %, évacue 15.000 l/h soit 4,2 l/s. La distance entre exutoires voisins pourrait être d'1 km (car 15.000/11 > 1.000 m), mais on se limitera à 500 m.

Vérification de l'utilité de drainer

L'utilité de drainer peut être vérifiée. Un sol support relativement perméable absorberait les 9 l/h avant le drain. Pour cela, il faudrait qu'il ait une perméabilité (supposée à l'état saturé) supérieure à :

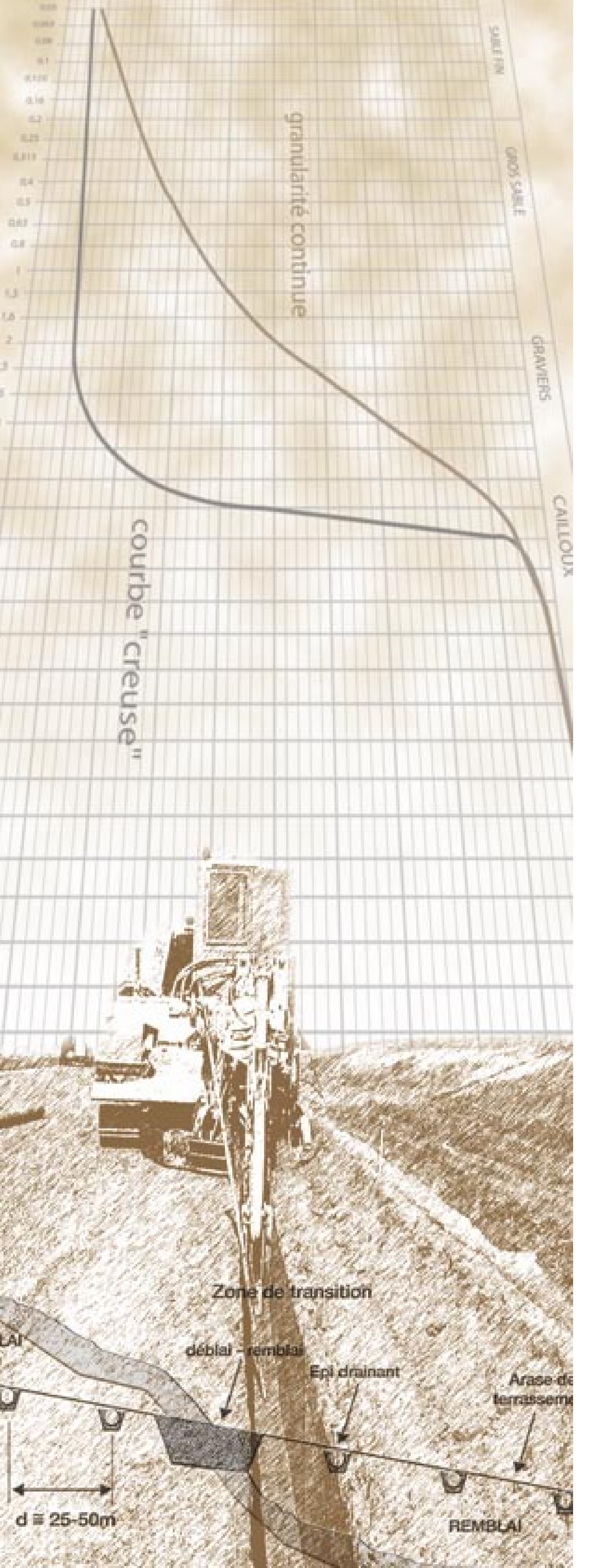
$$9 \times 10^{-3} / 3600 / 3{,}5 = 7 \times 10^{-7} \text{ m/s.}$$

Dès que le support est moins perméable, il va se produire des stockages temporaires dans l'assise, qui, s'ils ne sont pas drainés, risquent de nuire à son fonctionnement correct (une GNT chutera fortement en rigidité aux périodes de durées importantes de précipitations ; une assise traitée pourra présenter un décollement avec le BB, etc.).

Remarque : comme le montrent les calculs ci-dessus, les résultats dépendent étroitement de la valeur du coefficient de perméabilité pris en compte.

Si la nature des matériaux est telle qu'ils sont ou très perméables ou très peu perméables, le risque d'erreur est sans conséquence pratique.

Par contre, pour les cas intermédiaires, des erreurs grossières peuvent être faites si le coefficient de perméabilité est seulement estimé à partir des caractéristiques d'identification. Il y a lieu, alors de se référer à des résultats d'essais normalisés.



Annexe 4

Eléments pour l'établissement du cahier des clauses techniques particulières (CCTP)

Cette annexe ne constitue pas un CCTP type mais plutôt un canevas qui pourra être adapté à chaque cas de chantier. Il intègre un souci de gestion de la qualité des travaux.

Il convient de rappeler que les travaux de drainage s'intègrent, dans un bon nombre de cas, à des travaux de terrassement, de construction de chaussées (ou d'entretien ou de réhabilitation). Ceux-ci comprennent, très généralement, des travaux d'assainissement. La gestion des interfaces entre ces différents travaux devra être traitée dans l'un ou l'autre des CCTP.

1 - Description des travaux a réaliser

1.1 - Localisation des travaux

1.2 - Description générale des travaux dévolus à l'entreprise

- Désignation du type d'ouvrage de drainage à réaliser
- Données hydrauliques
- Données géotechniques
- Travaux préparatoires

1.3 - Travaux non compris dans le marché

1.4 - Références aux plans extraits du projet d'équipement

2 - Assurance de la qualité

- Conditions de service de l'ouvrage de drainage
- Dispositions générales pour la maîtrise de la qualité
- Degré de développement du PAQ
- Type du chantier
- Traitement des anomalies
- Plan d'assurance qualité
- Points critiques
- Points d'arrêt
- Organisation du contrôle extérieur
- Organisation du contrôle intérieur

3 - Spécifications des matériaux, produits et composants

3.1 - Caractéristiques exigées des dispositifs de drainage

- Typologie du dispositif
- Caractéristiques géométriques, mécaniques, hydrauliques (cf. chapitre 4)

3.2 - Matériaux pour les terrassements et le remblayage

• *Sols, GNT, graves d/D*
- Classification annexe 5 [1]. Taille des plus gros éléments par rapport à l'épaisseur de la couche compactée
- Type de matériaux en fonction de l'objectif de densification
- Dispositions particulières ou refus de certains matériaux (gélivité des sols, sous-produits industriels)
- Agressivité (chimique, biologique) de certains sols ou sous-produits industriels vis-à-vis des réseaux posés ou de certains composants tels que les géotextiles ou géomembranes
- Composition des bétons poreux, …

• *Géotextiles*

Géotextile certifié, non certifié pour... (destination du géotextile), contrôle...

Les caractéristiques des géotextiles à déterminer :
- Résistance à la traction
- Déformation sous charge maximale
- Résistance à la perforation dynamique
- Perméabilité à l'eau normalement au plan
- Ouverture de filtration, O_f, et la résistance à la pénétration de l'eau

• *Drains*
- Destination du drain, type de drain, caractéristiques hydrauliques, stabilité chimique, stabilité vis-à-vis des agents atmosphériques, dispositif collecteur pour écran de rive de chaussée, ...

• *Écrans drainants de rive de chaussée*
- Destination de l'EDRC, caractéristiques hydrauliques, épaisseur, hauteur, ...
- EDRC préfabriqué, EDRC fabriqué en place.
- Géotextile associé (O_f), matériaux drainants, béton poreux, caractéristiques de l' âme drainante, nature du matériau, caractéristiques hydrauliques, souplesse, stabilité mécanique.

3.3 - Ouvrages annexes

Exemple : regards (dimensions, couvercles...), exutoires (diamètre, grille anti-rongeurs, tête d'exutoire).

4 - Mode d'exécution des travaux (exemple pour tranchées drainantes et EDRC)

4.1 - Spécifications sur l'implantation et le piquetage des dispositifs

- Implantation en plan (désignation des sections à traiter, distance par rapport à l'axe de la voie)
- Implantation en nivellement (pentes des profils, du fil d'eau).

4.2 - Réception et stockage des fournitures et matériaux

4.3 - Mode d'exécution de la tranchée

- Largeur (suivant le procédé retenu), profondeur
- Préparation, ouverture de la tranchée, caractéristiques du fond de fouille, blindages éventuels

4.4 - Spécifications de mise en oeuvre

- Mise en oeuvre des matériaux pour lit de pose, des matériaux drainants, des drains, des géotextiles
- Plan de pose (calepinage), coupe des rouleaux, du géotextile, assemblage par recouvrement par couture, par thermo-soudure, par agrafage, par collage, action du vent
- Mise en oeuvre en tranchée ...

Mise en oeuvre des EDRC

Pose de l'EDRC à l'aide d'un matériel de mise en oeuvre muni de caisson

- Edrc fabriqué en place, EDRC préfabriqué
- Remplissage avec du béton poreux
- Pose de l'EDRC sans caisson
- Exécution du décaissement
- Préparation du fond de fouille
- Mise en place et ancrage du textile, mise en place des matériaux.

4.5 - Spécifications de compactage

Cf. guide « Remblayage des tranchées » [11]

4.6 - Traitement des points singuliers

Franchissement des voies, des réseaux enterrés transversaux

4.7 - Pose des regards, raccordements aux exutoires

4.8 - Travaux annexes

Par exemple, couche d'imperméabilisation au-dessus d'un Edrc ou d'une tranchée drainante.

4.9 - Exploitation de la route pendant le chantier

- Disposition de protection, longueur de l'alternat
- Repliement du matériel le soir, le week-end, ...

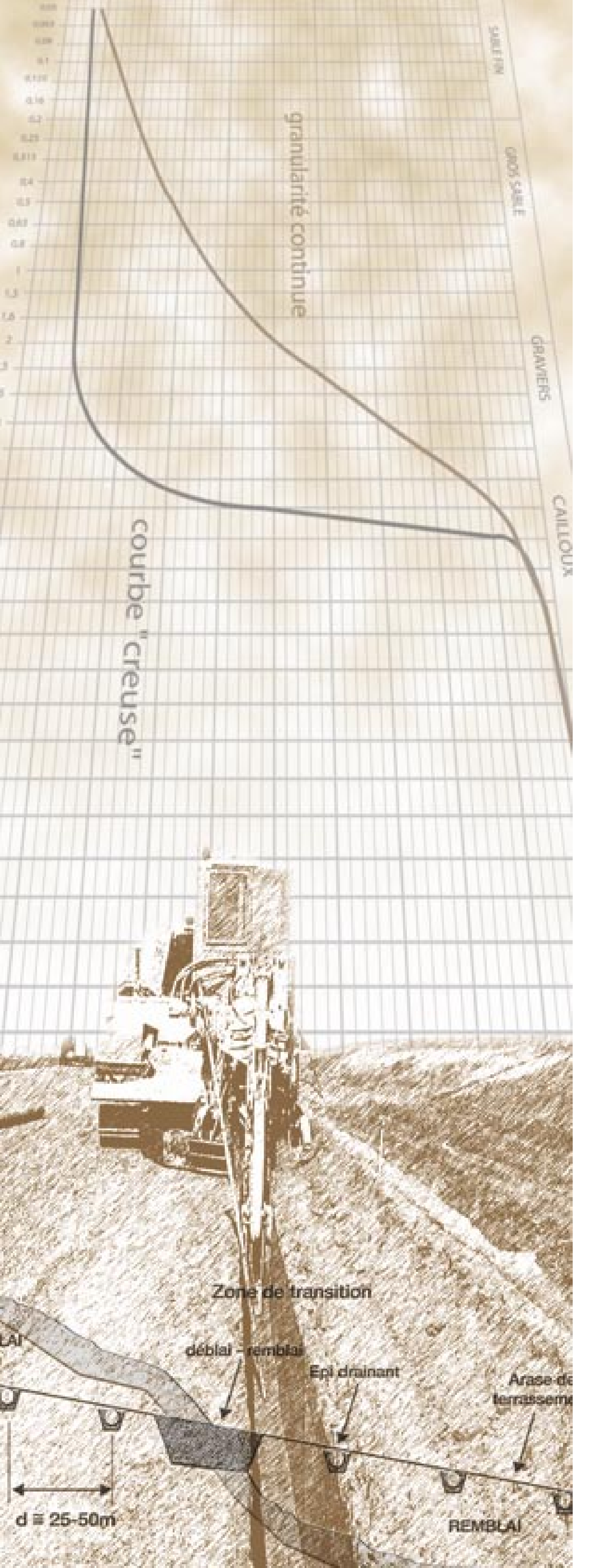
5 - Contrôle et qualité

5.1 - Planches de référence de compactage

Cf. guide « Remblayage des tranchées » [11]

5.2 - Contrôle aux points d'arrêt

5.3 - Contrôles de réception - Plan de récolement



Annexe 5

Bibliographie

Normes :

[1] **NF P 11-300 :** Exécution des terrassements. Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières. AFNOR, septembre 1992.

[2] **NF U 51-101 :** Drainage agricole. Tubes annelés en polychlorure de vinyle non plastifié. Spécifications. AFNOR - Décembre 1987.

[3] **XPP 18-540 :** Granulats - définitions, conformité, spécifications. AFNOR, octobre 1997.

[4] **NF 94-500 :** Missions géotechniques – classification et spécifications. AFNOR, juin 2000.

[5] **NF P 16-351 :** Plastiques. Systèmes de canalisations en plastique pour drainage enterré. Spécification pour le génie civil. AFNOR, juillet 1998.

[6] **NF G 38 061 :** Recommandations pour l'emploi des géotextiles et produits apparentés. Détermination des caractéristiques hydrauliques et mise en œuvre dans les systèmes de drainage et de filtration. AFNOR, février 1993. (en cours de révision)

[7] **NF EN 13252 :** Géotextiles et produits apparentés – caractéristiques requises pour l'utilisation dans les systèmes de drainage. AFNOR, novembre 2001.

[8] **CCTG travaux** – fascicule 2 : Terrassements généraux. AFNOR, mars 2003.

Documents techniques :

[9] **Réalisation des remblais et des couches de forme -** Guide technique. Fasc. 1et 2. Sétra – LCPC, septembre 1992, Réf. D9233.

[10] **L'entretien courant de l'assainissement de la route** - Guide pratique. Sétra, 1998, Réf. D9841.

[11] **Remblayage des tranchées et réfection des chaussées** - Guide technique. Sétra – LCPC, 1994, Réf. D9441.

[12] **Écrans drainants en rives de chaussées -** Guide technique. Sétra – LCPC, 1992, Réf. D9237.

[13] **Organisation de l'assurance qualité dans les travaux de terrassements** – Guide technique. Sétra - LCPC, 2000, Réf. D.9923.

[14] **Réalisation des remblais sur sols compressibles** - Guide technique. Sétra – LCPC, 2000, Réf. D.0034.

[15] **L'eau et la route – dispositifs de traitement des eaux pluviales -** volume 3 et 7 - Guide Sétra, 1997, Réf. B 9741.

[16] **Caractérisation du climat pour le drainage des chaussées.** C. DEVRETON, 1997, Étude réalisée par le Service Central d'Exploitation de la Météorologie. Météo-France.

[17] **Stabilisation des glissements de terrain –** Guide technique LCPC – technique et méthode des LPC, 1998.

[18] **Aménagement des Routes Principales (ARP) -** Guide technique. Sétra, 1994, Réf. B9668.

[19] **Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison (ICTAAL)** – Guide technique. Sétra, décembre 2000, Réf. B0103.

[20] **Traitement des obstacles latéraux –** Guide technique. Sétra, 2002, Réf E0233.

[21] **Assainissement routier** - Guide technique. Sétra, Réf. - **à paraître en** 2006.

Pour information :

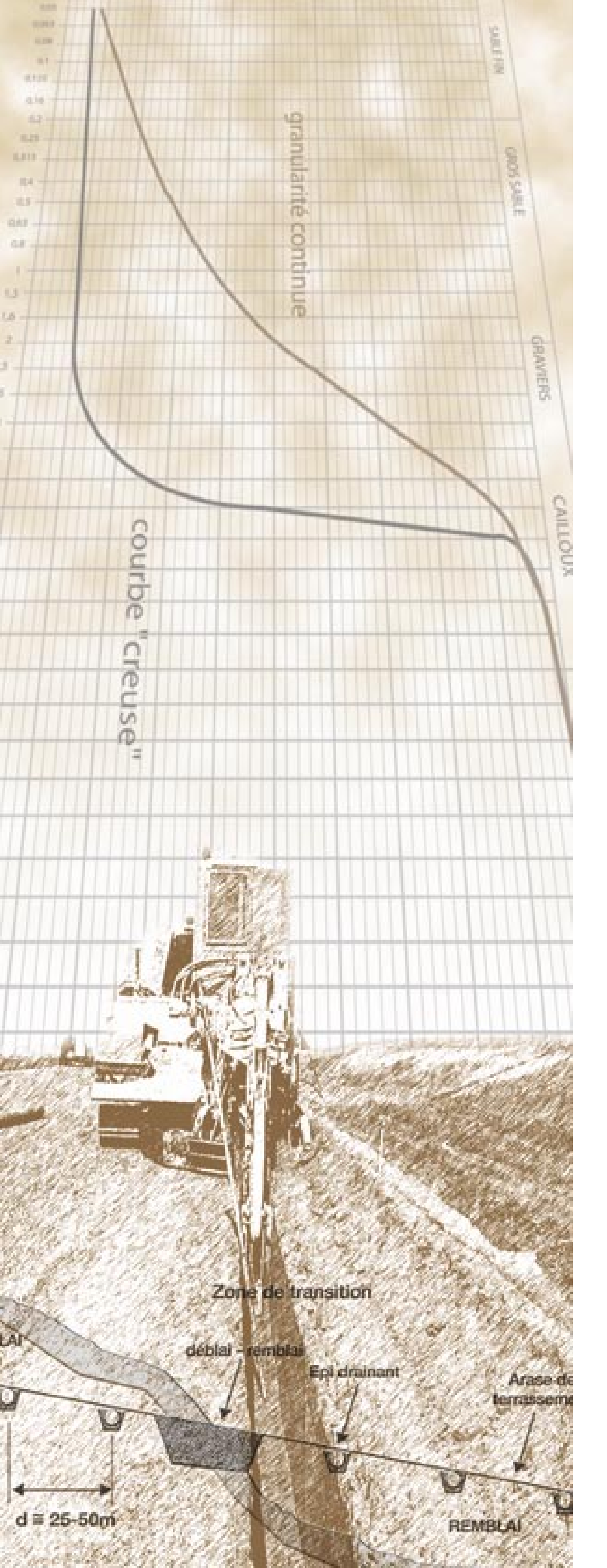
Loi N° 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau et ses décrets d'application

Aide aux Choix des Solutions d'Assainissement et de drainage sur Routes Existantes (ACSARE) - Guide technique. Sétra, 1993, Réf. D9232.

Conception et dimensionnement des structures de chaussées - Guide technique. Sétra – LCPC, 1995, Réf. D9511.

Entretien préventif du réseau routier national - Guide technique. Sétra - LCPC, 1979, Réf. D7905.

Prise en compte des motocyclistes dans l'aménagement et la gestion des infrastructures - Guide technique. Sétra - CERTU, 2000, Réf E 0026.



Annexe 6

Abrévations et glossaire

6.1 - Abréviations

AR	:	Arase des terrassements
BAC	:	Béton Armé Continu
BAU	:	Bande d'Arrêt d'Urgence
BB	:	Bêton bitumineux
CCAG	:	Cahier des Clauses Administratives Générales
CCTP	:	Cahier des Clauses Techniques Particulières
CE	:	Communauté européenne
DCE	:	Document de Consultation des Entreprises
EDRC	:	Ecran Drainant de Rive de Chaussée
ES	:	Equivalent de Sable
GNT	:	Grave Non Traitée
LA	:	coefficient Los Angeles (norme NF P 18-573)
MDE	:	coefficient micro-Deval (norme NF P 18-572)
PAQ	:	Plan d'Assurance Qualité
PST	:	Partie Supérieure des Terrassements
RC	:	Règlement de Consultation
SOGED	:	Schéma d'Organisation de Gestion et d'Évacuation des Déchets
SOPAQ	:	Schéma Organisationnel du Plan d'Assurance Qualité
SDQ	:	Schéma Directeur de la Qualité
TPC	:	Terre-Plein Central
VBS	:	valeur de bleu d'un sol

6.2 - Glossaire

*Les termes du glossaire sont reperés par * dans ce guide.*

Aquifère : zone contenant de l'eau en partie mobilisable par gravité

Attrition : phénomène produisant une modification de la couche granulométrique résultant d'une diminution de la taille de certaines particules. il peut être observé lorsque les particules se heurtent entre elles ou contre les obstacles.

Berme : partie non roulable de l'accotement, se situe entre les structures stabilisées et les talus ou cunettes.

Blocométrie : taille des éléments blocailleux d'un matériau

Boulance : le phénomène de Boulance s'observe dans certains sols, lorsque la pression de l'eau généralement ascendante est susceptible de liquéfier ce sol en mettant les grains en suspension dans l'eau, en annulant la contrainte effective - les sables mouvants sont une manifestation de ce phénomène.

Contrôle extérieur : vérification de l'application du Plan d'Assurance Qualité de l'entreprise et à l'évaluation de la fiabilité du contrôle intérieur par le maître d'œuvre.

Contrôle intérieur : comprend le contrôle interne (assuré par le chef de chantier) et le contrôle externe (assuré par le responsable Qualité de l'entreprise)

d85 : critère granulométrique déterminé sur la courbe de l'analyse granulométrique : le d85 est le diamètre des éléments du sol tel que 85 % en poids des éléments de ce sol soient inférieurs à ce diamètre.

Déblai : en dessous du niveau du terrain naturel

Dessiccation : perte de l'eau que renferme le sol

Etude hydrogéologique : étude qui donne des informations relatives à la circulation des eaux souterraines et au comportement des nappes.

Etude géotechnique : étude des sols sous tous les aspects qui intéressent l'ingénieur de génie civil.

Exhaure : eaux de drainage

Flache : affaissement hors rive de forme circulaire

Géocomposite : assemblage manufacturé de matériaux dont au moins un des composants est un produit géosynthétique.

Géoespaceur : structure tridimensionelle à base de polymère conçue pour créer un espace d'air dans le sol et/ou dans d'autres matériaux dans les domaines de la géotechnique et du génie civil.

Géogrille : structure plane à base de polymère constituée par un réseau ouvert et régulier d'éléments résistants à la traction et pouvant être assemblés par extrusion, par collage ou par entrelacement, dont les ouvertures ont des dimensions supérieures à celles des constituants.

Géosynthétique : géotextile, géomembrane et produits apparentés.

Géosynthétique alvéolaire : structure tridimensionnelle en nid d'abeille ou similaire, perméable, à base de polymère, constituée de bandes de géosynthétiques reliées entre elles.

Géotextile : matière textile plane, perméable et à base de polymère (naturel ou synthétique) pouvant être non tissée, tricotée ou tissée, utilisée en contact avec le sol ou avec d'autres matériaux dans les domaines de la géotechnique et du génie civil.

Indice de gel : grandeur mesurable caractérisant la rigueur d'un hiver pour les structures de chaussées. Elle est définie comme étant, pour un lieu et une période donnés, la valeur absolue de la somme des températures moyennes journalières négatives.

Ligne bleue : ligne matérialisant la surface de l'eau sur un profil

Ligne rouge : ligne matérialisant la surface de la chaussée

Réseau karstique : les phénomènes karstiques résultent de la dissolution des calcaires par les eaux d'infiltrations. Ces phénomènes se manifestent en surface et en souterrain en créant des réseaux de cavités plus ou moins continus et plus ou moins importants.

Partie Supérieure des Terrassements (PST) : elle est constituée par le(s) matériau(x) situé(s) à environ 1 m en dessous de la couche de forme (ou en dessous de la couche de fondation en l'absence de couche de forme)

Piédroit : montant vertical sur lequel retombent les voussures d'un ouvrage

Plate-forme support de chaussée : surface plane sur laquelle est mise en œuvre la première assise de chaussée ; c'est la plate-forme de la couche de forme ou l'arase de terrassement en absence de couche de forme.

Points d'Arrêts (PA) : points définis dans un document approprié au-delà desquels une activité ne doit pas se poursuivre sans l'accord d'un organisme ou d'une autorité désignée.

Points Critiques (PC) : situations pour lesquelles il a été décidé d'effectuer un contrôle intérieur à un intervenant, le contrôle extérieur étant formellement informé du moment de son exécution et/ou de son résultat.

Profil mixte : profil en travers de plate-forme de terrassement dont un côté se situe en remblai et l'autre en déblai.

Profil rasant : profil en travers de plate-forme de terrassement situé à un niveau proche du terrain naturel.

Remblai : volume de terre rapportée pour combler ou relever le terrain naturel.

Sol compressible : (ou sol mou) est un sol assez déformable tels les sables lâches, les tourbes, les loess, les vases, les argiles molles et certains limons argileux.

service d'Études techniques des routes et autoroutes



46 avenue Aristide Briand
BP 100
92225 Bagneux Cedex
France
téléphone : 33 (0)1 46 11 31 31
télécopie : 33 (0)1 46 11 31 69
internet : www.setra.equipement.gouv.fr

Ce guide technique « Drainage routier » est le premier document méthodologique qui incite à la prise en compte systématique des besoins de drainage dans les travaux routiers. Il propose des solutions en terme de type d'ouvrage, d'implantation, de dimensionnement et d'entretien pour les projets routiers neufs y compris les terrassements et pour les chaussées existantes.

Ce guide s'adresse aux maîtres d'œuvre et d'ouvrage, aux gestionnaires, aux bureaux d'études et entreprises de travaux publics concernés par l'étude du drainage routier, sa réalisation et sa maintenance.

Document disponible au bureau de vente du Sétra
46 avenue Aristide Briand - BP 100 - 92225 Bagneux Cedex - France
téléphone : 33 (0)1 46 11 31 53 - télécopie : 33 (0)1 46 11 33 55
Référence : **0605** - Prix de vente : **20 €**

Crédit photos : Alis (A28-Rouen/Alençon en construction) - Yasmina Boussafir (CETE Normandie - Centre - LRPC Blois) - Marc Valin (CETE Nord-Picardie) - Francis Vanlaethem (CETE Nord-Picardie - LRPC Lille)
Conception graphique - mise en page : Domigraphic

Le Sétra appartient au Réseau Scientifique et Technique de l'Équipement

